

ПРИРОДА

6 02



В НОМЕРЕ:

3 Земсков А.И., Евстигнеева Г.А.
Научно-технические библиотеки в современных условиях
Финансовые возможности, комплектование, доступ к электронным информационным ресурсам, система выписки иностранной литературы — все это служит формированию фондов научно-технических библиотек в современных условиях. Что же их ждет в будущем?

6 Калякин В.Н.
О тайнах былого распространения стеллеровой коровы

12 **Калейдоскоп**
 Светящиеся солдаты (12). Баварский реактор: запуск откладывается (15). Как мать и дитя ушастых тюленей находят друг друга (53). Искусственный спутник Земли «Ikonos-2» (61). Суда-призраки из Венецианской лагуны (78).

13 **Сурдин В.Г.**
Научные сообщения
Самая массивная черная дыра звездного происхождения
Басов И.А.
«ДЖОИДЕС Резолюшн»:
187-й и 188-й рейсы (70)

16 Штукенберг А.Г.
Ростовая диссимметризация кристаллов
Каждый кристалл обладает определенной симметрией, но иногда мы сталкиваемся с понижением симметрии, не связанным с обычным термодинамическим фазовым переходом, а обусловленным самим процессом роста кристалла.

22 Гриднев С.А.
Сегнетоэластические кристаллы: основные свойства, влияние дефектов
Гистерезис, домены, переключение — понятия, пришедшие из области электричества и магнетизма в кристаллах — оказывается, применимы и при описании механических свойств, которые тоже бывают нелинейными.

30 Иваницкий В.В.
Кто дирижирует ансамблем певчих птиц?
Птичий вокальный оркестр вполне может претендовать на достойное место в ряду самоорганизующихся систем.

Вести из экспедиций

40 Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С., Тихомирова А.В., Леонов А.В.
Озеро Селигер — второй исток Волги

49 Константинов М.М.
Клады древнего Садона

54 Дымшиц Г.М.
Сюрпризы митохондриального генома

У разных видов геномы митохондрий отличаются по многим свойствам, но в одном все они схожи: их генетический код не универсален. Можно сказать, что митохондрии говорят на разных языках, но никогда — на языке ядра.

Лекторий

62 Имянитов Н.С.
Уравнения для... закона Менделеева
Периодический закон Д.И.Менделеева обычно изображают в виде таблиц и кривых, на плоскости и в трехмерном пространстве. Но можно сконструировать и уравнения, причем универсального характера.

73 Блох А.М.
Достойные... но недостойные
«Нобелиана» Григория Ландсберга и Леонида Мандельштама

79 **Новости науки**
 Неудачное свидание с Ио (79). Изучая «темную материю» (79). Судьбу Марса решал вулкан? (80). Странности топографии Эроса (80). Электромагнитный микро-мотор для жидкостных микросистем (81). Все о размерах сцинковых ящериц. Семенов Д.В. (82). Вся мудрость жизни — у слоники (83). Вода как смазка литосферы (83). Открыты вулканы на дне Ледовитого океана (84). Необычное облако над антарктическим островом (84). Судьба гренландских викингов (85).

Рецензии

86 Киселев Л.Л.
Радость познания

90 **Новые книги**

91 Любина Г.И.
Встречи с забытым
Мария Исидоровна Гольдсмит

94 Левицкий М.М.
В конце номера
Разные лекарства в одной капсуле

CONTENTS:

3 Zemskov A.I. and Evstigneeva G.A.
Scientific and Technical Libraries in Present Conditions

Financial resources, acquisition of items, access to electronic information, subscription to foreign literature: these are factors in developing the collections of scientific and technical libraries in present conditions. What the future might have in store for them?

6 Kalyakin V.N.
On the Mysteries of the Past Spreading of Steller's Sea Cow

Kaleidoscope

12 Luminescent Soldiers (12). The Bavarian Reactor: Startup Delayed (15). How Mother and Child of Seals Find Each Other (53). Ikonos 2 Satellite (61). Ghost Ships of the Venetian Lagoon (78).

Scientific Communications

13 Surdin V.G.
The Largest Black Hole of Stellar Origin

Basov I.A.
JOIDES Resolution: 187th and 188th Cruises (70)

16 Shtukenberg A.G.
Growth Dissymmetrization of Crystals

Each crystal has a certain symmetry, but we occasionally encounter a lowering of symmetry that is not related to the ordinary thermodynamic phase transition but is due to the process of crystal growth itself.

22 Gridnev S.A.
Ferroelastic Crystals: The Main Properties and the Influence of Defects

Hysteresis, domains, and switching — concepts that came from the field of electricity and magnetism in crystals — have found to be applicable when describing mechanical properties, which also can be non-linear.

30 Ivanitsky V.V.
Who Directs the Songbird Ensemble?

The vocal ensemble of birds can claim a legitimate place among self-organizing systems.

News from Expeditions

40 Shaporenko S.I., Shilkrot G.S., Tikhomirova A.V., and Leonov A.V.
Lake Seliger: The Second Effluent of the Volga

49 Konstantinov M.M.
Buried Treasures of Ancient Sadon

54 Dymshits G.M.
Surprises of the Mitochondrial Genome

The genomes of mitochondrions vary in many properties among different species, but they all have one thing in common: their genetic code is non-universal. One might say that mitochondrions speak different languages but never the language of the nucleus.

Lectures

62 Imyanitov N.S.
Equations for... Mendeleev's Law

Mendeleev's periodic law is usually represented as tables and curves, on a plane and in 3-D space. Yet it is also possible to construct equations that are quite universal.

Honorable... but Unhonored

73 Blokh A.M.
The Nobel Nonprizes to Grigori Landsberg and Leonid Mandelstam

Science News

79 An Unsuccessful Rendezvous with Io (79). Studying Dark Matter (79). The Destiny of Mars Ruled by a Volcano? (80). Peculiar Features of the Eros Topography (80). An Electromagnetic Micromotor for Liquid Microsystems (81). All about the Sizes of Skinks. **Semenov D.V.** (82). All of Life's Wisdom Found in the Female Elephant (83). Water as the Lithosphere's Lubricant (83). Volcanoes Discovered on the Arctic Ocean Floor (84). An Unusual Cloud over an Antarctic Island (84). The Fate of Greenland Vikings (85).

Book Reviews

86 Kiselev L.L.
Joy of Knowledge

New Books

90
Encounters with the Forgotten
91 Lyubina G.I.
Mariya Isidorovna Goldsmit

End of Issue

94 Levitsky M.M.
Different Medicines in One Capsule



Научно-технические библиотеки в современных условиях

А.И.Земсков,

кандидат физико-математических наук

Г.А.Евстигнеева

Государственная публичная научно-техническая библиотека

Москва

Научно-технические библиотеки в первую очередь выполняют задачи информационного обеспечения населения: обслуживание читателей, автоматизация библиотечных процессов и формирование фондов. Вопрос о создании системы, направленной на упорядочение выписки зарубежной естественнонаучной и технической литературы, возник и был разрешен еще в период существования Советского Союза. Согласно распоряжению Государственного комитета СССР по науке и технике, была создана при Государственной публичной научно-технической библиотеке (ГПНТБ) группа, координировавшая выписку иностранной литературы, которая приобреталась по валютным ассигнованиям, и учет литературы, поступавшей в страну по международному книгообмену.

Наряду с этим при Комитете по науке и технике была создана комиссия для проверки целесообразности закупки литературы с целью экономии государственных средств. Учитывалось как географическое распределение иностранной периодики, так и ведомственное. Установленная система государственного финансирования и контроля имела свои плюсы и минусы.

Библиотекам была гарантирована регулярная закупка литературы, что позволяло целенаправленно комплектовать фонды в рамках выделенных средств. Созданная комиссия также определяла перечень иностранных изданий для каждой библиотеки. Планомерное финансирование и целенаправленное распределение литературы, несомненно, положительные факторы. Отрицательным было то, что, приобретая литературу, не было возможности искать наиболее выгодные пути.

Десять лет назад эта система прекратила свое существование. Теперь нет вышестоящей организации, которая следит за деятельностью библиотек. Поэтому вопросы, связанные с формированием фондов, в частности, какую литературу, в каком количестве, у кого покупать, решаются самостоятельно. Тем не менее создается множество совместных информационных проектов, в которых сегодня участвуют не только библиотеки, но и издатели. Причем лидирующую роль здесь играют первые. Вопрос о формировании фонда не может быть решен в отрыве от других библиотек, хотя на первый план сегодня выходят экономические мотивы.

При отсутствии централизованного финансирования практически все библиотеки испыты-

вают нехватку средств на закупку литературы, в том числе и на комплектование. Это требует особенно внимательного подхода к отбору изданий для фонда, учитывая многие факторы, например наличие изданий в других библиотеках региона. Сегодня потребность во взаимодействии и сотрудничестве крупнейших научно-технических библиотек России не только не уменьшилась, но, пожалуй, даже увеличилась, так как это помогает решать непростой вопрос комплектования фондов иностранной литературой. В настоящее время средства Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) стали для многих крупнейших библиотек России основным источником финансирования. При составлении заказов, конечно, сравниваются списки, но желание иметь то или иное издание в своем фонде подчас берет верх, и заказывается журнал, который традиционно уже есть у других. О том, что нельзя полагаться лишь на библиотекарей, говорит тот факт, что дублирование журналов издательства «Elsevier», выписанных в рамках электронной библиотеки РФФИ, по данным 1999–2000 гг., было достаточно велико. По условиям договора между РФФИ и «Elsevier» электронный доступ предоставляется только к журналам, выпи-

санном хотя бы одной библиотекой. В результате суммарное число наименований приближалось к 600, а число журналов в электронном доступе вбирало около 360 наименований. Этот факт наводит на мысль, что в данном случае координация и централизованная подписка с целью наиболее рационального использования средств были бы не лишними. Помочь РФФИ и взять на себя эту функцию могла бы одна из библиотек, получающих финансирование от Фонда. Например — ГПНТБ, поскольку у нее есть большой опыт проведения подобной работы и необходимое техническое оснащение, чтобы осуществлять координацию на современном уровне с помощью компьютерных технологий.

Сокращение финансирования привело к резкому снижению уровня комплектования библиотек. Практически везде количество поступлений сократилось в несколько раз. Яркой иллюстрацией к сказанному могут служить статистические данные, собранные ГПНТБ как координатором выписки зарубежных журналов библиотеками СССР, а впоследствии России.

В 1990 г. (последний год стабильного финансирования) в библиотеки России по подписке поступало около 12 500 наименований иностранных журналов, свыше 9500 — по международному книгообмену. Общее число наименований иностранных журналов во всех библиотеках составляло около 17 500. В 1994 г. (достоверными сведениями за более поздние годы мы не располагаем) выписка иностранных журналов сократилась почти в четыре раза, поступивших по международному книгообмену — в два раза, а общее число — примерно в 2.5 раза. Поскольку система координации перестала существовать, достоверных сведений за более поздние годы у нас нет. Можно только сказать, что в последующее время ситуация несколько улучшилась. Это связано с тем,

что в определенной степени прояснилось и стабилизировалось финансовое положение министерств, поддерживающих библиотеки. Существенную помощь стал оказывать РФФИ. Теперь библиотеки могут снова начать заниматься политикой комплектования и формирования фондов. При этом надо отдавать себе отчет в том, что вывести поступления литературы на прежний уровень не удастся никогда, так же как и ликвидировать образовавшиеся за несколько лет лакуны. Впрочем, в современных условиях отпала необходимость иметь на полках как можно больше литературы, так как библиотеки расширяют доступ к электронным ресурсам. Этот источник может удовлетворить потребности в самой свежей и актуальной информации, а также восполнить пробелы за прошлые годы, разрешая таким образом проблему лакун. Именно поэтому стали обращать серьезное внимание на новый вид информационных ресурсов — электронные издания.

Решая вопрос об использовании электронных продуктов, библиотека должна работать в следующих направлениях: рынок информационной продукции и перспективы его развития; преимущества электронных изданий перед традиционными формами; экономические затраты; качество предоставляемой информации и электронного доступа в целом; соотношение традиционных и электронных форм [1].

Уже в конце 80-х издатели и книготорговцы начали исследовать возможности электронных технологий для применения их в сферах своей деятельности. Сегодня значительное число научных издательств во всем мире предлагают на рынок свои печатные журналы в электронной форме. Однако ведущие («Wiley», «Academic Press», «Springer», «Kluwer», «Elsevier» и др.) не торопятся отказаться от традиционных форм своей деятельности и пытаются найти

наиболее удачное сочетание старых и новых технологий. Об этом свидетельствует и политика распространения электронной продукции. Большинство издательств предлагают электронные версии лишь в совокупности с традиционными. Существуют также журналы, выпускаемые только в электронном виде. Их число растет с каждым годом.

Говоря о преимуществах электронных изданий можно отметить следующее [2].

В некоторых случаях они являются более удобными. Это происходит, когда читатель предполагает использовать текст для его дальнейшей переработки.

Если то или иное издание отсутствует в фонде библиотеки, может быть полезен доступ к его оглавлению, так как это дает информацию о содержании и в случае необходимости читатель может заказать по Международной библиотечной ассоциации.

Библиографические, а также справочные и энциклопедические издания также удобнее использовать в электронном виде.

Кроме того, существенное преимущество онлайн-доступа состоит в том, что с электронным изданием можно начать работать значительно раньше, чем с печатным, так как здесь исключается время, затраченное на полиграфические работы и пересылку. К примеру, журналы Американского химического общества в электронном виде выходят на 11 недель раньше, чем их печатные версии.

Определяя стоимость электронного издания, учитывается цена печатного аналога. Несмотря на договоренность между европейскими издателями о цене электронных изданий, не превышающей 80% от стоимости печатных, не редки случаи, когда она не ниже, а в ряде случаев и выше. Кроме того, электронные версии предлагаются лишь при покупке обычного издания. Онлайн-доступ можно получить в этом случае или бесплатно, или по достаточно низким ценам.

Имеется ряд электронных изданий, которые предоставляются бесплатно, например, журнал «New Journal of Physics». Кто же тогда оплачивает издержки? Авторы. Независимо от объема статьи, публикация стоит 500 долл. США. Причем это не означает, что любой оплаченный материал появится в журнале. К публикации допускаются лишь лучшие статьи. Поэтому специалист в области комплектования должен обращать серьезное внимание на такого рода издания.

В одном из университетов Великобритании была разработана анкета по различным Web-серверам. Вот основные темы:

- быстрота и легкость осуществления доступа к Web-серверам (наивысшая оценка, если вход осуществляется менее чем за 10 с, низшая — если более 2 мин);
- содержательность информации;
- графика;
- гипертекстовая структура;
- «дружелюбность» к пользователю, т.е. насколько удобно пользователю работать;
- навигация (поиск, переход к другим страницам т.д.);
- полезность «home page»;
- уникальные особенности, отличающие страницу от других;
- плата за предоставление информации.

Прежде чем затратить средства на электронный доступ к тому или иному серверу, потребитель должен убедиться в качестве предоставляемой информации и возможностях доступа к ней. Поэтому распространители электронных продуктов предлагают временный бесплатный доступ к серверам.

Зарубежные библиотеки, решая эту задачу, делают выбор в пользу дублирования информации на традиционных и электронных носителях. Причина — относительно низкая стоимость при совместной покупке [3].

Российские библиотеки также стремятся к использованию электронных информационных ресурсов. Однако, в сравнении с зарубежными коллегами, мы имеем более скромные возможности. Ограниченность в средствах влияет не только на количество изданий, приобретаемых для фонда и представленных в электронном виде, но также на технические возможности такого доступа. Мы не можем оценивать его скорость по параметрам, указанным выше, но все же и здесь ситуация улучшается: пользователь имеет возможность доступа к электронным журналам. Государственная публичная научно-техническая библиотека — один из лидеров в автоматизации российских библиотек — имеет 265 компьютеров, локальную сеть с выходом 2 Мбит/с в Интернет, сеть обслуживания компактными дисками CD-ROM (100 могут загружаться в автоматизированную систему подачи juke box), более 1100 записей собственного производства в машиночитаемой форме (каталоги, проблемно-ориентированные базы данных). Запросов к электронным материалам и выгрузки информации (10—20 тыс. сеансов за день) становится в 10 раз больше, чем собственно посещений библиотек. География виртуальных пользователей шире, чем физических, а число физических абонентов в среднем равно числу виртуальных [4].

В библиотечной среде принято жаловаться на недостаток финансирования и комплектования научно-технической литературой и, как следствие, падение читательского интереса. Это верно лишь отчасти.

Огромная емкость оптических дисков создает существенный компенсационный эффект: содержание 10 дисков в год (около 6.5 тыс. Мбайт) в среднем эквивалентно объему информации годовой подписки на 1000 наименований журналов, считая по 12 номеров в год (200 страниц в каждом). Те же 10 дисков эквивалентны 6 тыс. книг (по 400 страниц). С этой точки зрения можно сказать, что даже офлайн электронная информация вполне заменит недостаток печатных публикаций [5]. В ГПНТБ количественные показатели вполне удовлетворительны. За последние пять лет снижение поступлений отечественной и зарубежной литературы (30 тыс. экз.) было компенсировано 400 дисками (фактически получено 793). А вот качество информации не всегда отвечает запросам читателей, так как большинство оптических дисков получено в дар, а это иной раз не то, что наиболее необходимо; стоит вопрос создания достаточного количества рабочих мест, а также обучения пользователей.

Итак, подведем итог: литературы стало меньше, а доступной информации — больше. Будущее — за библиотекарями! ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-07-99602.

Литература

1. Дубров А.П., Мотенкова Е.Л., Красицова О.Л. Отношение ученых Российской академии наук к новым информационным технологиям // Науч. и техн. б-ки: Информ. сб. 1988. №7. С.17—25.
2. Hudson Bell, Nelson K.H. Tang. The effectiveness of commercial Internet Web sites: user's perspective // Internet Research. 1998. V.4. P.219—228.
3. Feona J. Hamelton. Physics for Free on the Web // Information World Review. 1999. March. P.6.
4. Земсков А.И. Модель НТБ на ближайшее будущее // Науч. и техн. б-ки: Информ. сб. 1998. №4. С.3—13.
5. Майстрович Т.Е. Доступ пользователей к машиночитаемым источникам информации // Науч. и техн. б-ки: Информ. сб. 1988. №4. С.35—39.

О тайнах бывшего распространения стеллеровой коровы

В.Н.Калякин

Отряд сирен (*Sirenia*), или морских коров, включает всего лишь четыре ныне живущих вида, а пятый — стеллерова корова, открытая и описанная Г.Стеллером в 1741 г., уже через 27 лет после этого была полностью истреблена. В отряде выделяют пять семейств, из которых до современности дошли только два: ламантиновые (с одним родом, включающим три вида) и дюгоневые (один род и вид). К последним относят и уничтоженную стеллерову корову. Наиболее древние из известных палеонтологических находок сирен, возраст которых более 40 млн лет, были уже вполне водными животными. Предполагается, что по целому ряду морфологических признаков сиреновые имели общих предков с хоботными, даманами (жирыками) и копытными.

Ламантины бывают обычно не более 4 м длиной и массой около 200 кг. От других сиреновых они отличаются округлым и цельным (нераздвоенным) хвостовым плавником. У животных двух видов на передних конечностях-ластах сохранились маленькие ногтевидные копытца. Из трех существующих видов обыкновенный ламантин (*Trichechus manatus*) распрост-

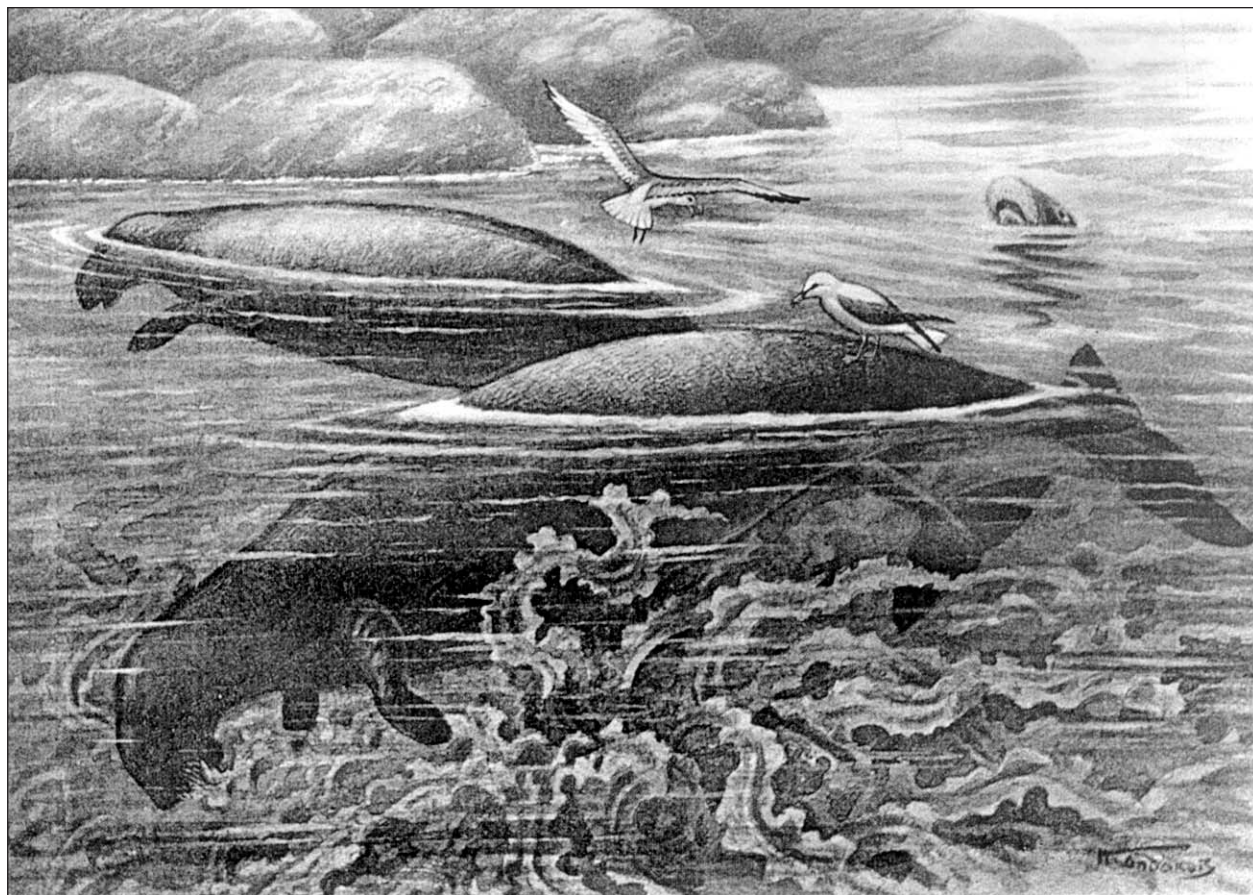


Владимир Николаевич Калякин, кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры биогеографии географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Научные интересы связаны с проблемами экологии и охраны природы. Неоднократно публиковался в «Природе».

ранен наиболее широко. Его ареал охватывает атлантические побережья Северной Америки, начиная от порта Бофорт (примерно 34.5°с.ш.), и тянется дальше на юг вдоль берегов Мексиканского залива, о-вов Карибского моря, Центральной и Южной Америки до устья Амазонки (20°ю.ш.). Бразильский ламантин (*T.inunguis*) населяет реки бассейнов Ориноко и Амазонки, а африканский (*T.senegalensis*) обитает в прибрежных водах и реках Западной Африки: от р.Сенегал (16°с.ш.) на юг до р.Кванза (почти до 10°ю.ш.).

Дюгонь (*Dugong dugon*), единственный вид рода, достигает трехметровой длины (раньше встречались животные длиной почти 6 м). Распространен он по побережьям и речным эстуариям Индийского океана и западной части Тихого: от Красного моря на юг вдоль африканских и мадагаскарских побережий, а на восток — до берегов северо-запада, севера и востока Австралии, Северного о-ва Новой Зеландии, далее вдоль Соломоновых о-вов до о-вов Рю-Кю.

Стеллерова корова впервые обнаружена возле о.Беринга.



Стеллерова корова.

Рисунок Н.Н.Кондакова

Сам Стеллер полагал, что имеет дело с обыкновенным ламантином и называл открытое им животное манатом. В качестве нового вида — *Hydrodamalis gigas* — ее описал К.Циммерман в 1780 г. Стеллерова корова — самая крупная из сиреновых: ее длина достигала почти 10 м, а масса — 4 т. Помимо прибрежий о.Беринга, она обитала и у соседнего о.Медный.

Сирены — единственные из морских зверей настоящие травоядные животные. Пасутся они на мелководьях прибрежной зоны и питаются крупными морскими водорослями и zostерой либо разными водными и околоводными (нависающими низко над водой) растениями. Поэтому сирен в течение многих столетий называли морскими

коровами (и телятами), а стеллерову корову, которая поедала морскую капусту (ламинарию), — еще и капустницей.

Характернейшая черта скелета сиреновых, помимо отсутствия, как и у китообразных, задней пары конечностей, — исключительно плотные кости: их удельный вес больше, чем у каких-либо других водных млекопитающих. Именно эта особенность обеспечивает сиреновым низкую плавучесть (какой нет ни у одного другого водного зверя), а значит, и возможность долго пребывать на подводных пастбищах (где сильны к тому же удары волн) с минимальными энергетическими затратами на погружение.

Сиреновые произошли, как упоминалось, от общего с дру-

гими копытными ствола, вероятно, еще в палеоцене, так как их остатки (правда, скудные) найдены в нижнеэоценовых отложениях. Среднеэоценовые сиреновые *Protosyren abel* и *Eotheroides palmer*, пишут Б.А.Трофимов и В.И.Громова, известны из Египта и Франции; в верхнем эоцене эти животные распространяются до Вест-Индии, а в миоцене — до западных берегов Северной Америки [1]. Миоцен и плиоцен — время их наибольшего расцвета и разнообразия, особенно в прибрежных реках Европы. В раннем миоцене, как сообщает В.Б.Суханов, представители семейства проникают в северную часть Тихого океана и широко распространяются вдоль его побережий, освоив новую экологическую

нишу — прибрежные заросли бурых морских водорослей, в основном ламинариевых [2]. Ископаемые остатки морских коров известны из Калифорнии (близкий стеллеровой корове вид или даже подвид, описанный как *Hydrodamalis cuestae*, обитал всего лишь 20 тыс. лет назад), найдены также в Японии (плиоцен) и на Сахалине (плиоцен и голоцен).

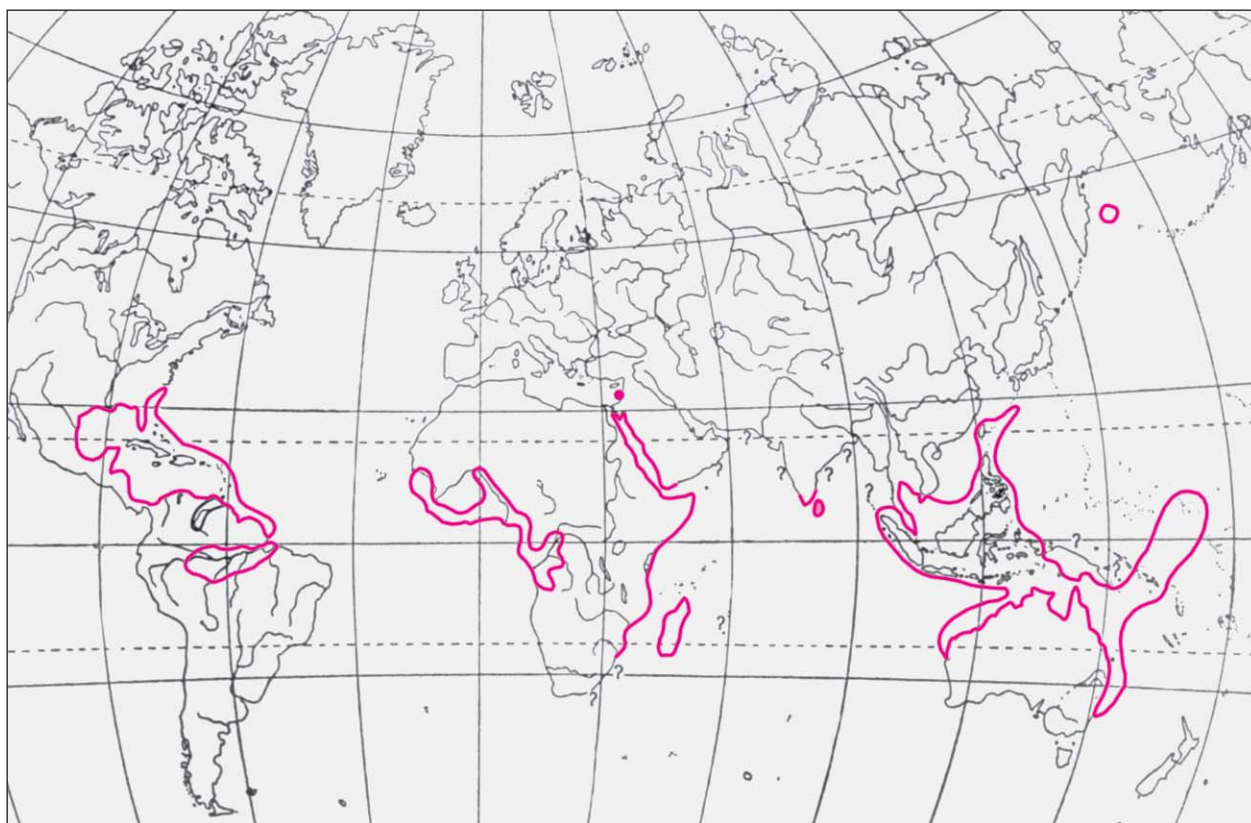
Из всех видов сиреновых ареал стеллеровой коровы был наименьшим, буквально крошечным. Вызывает недоумение, почему она обитала только у Командорских о-вов? Каким образом сугубо прибрежно-морской зверь, не способный преодолевать сколько-нибудь значительные открытые водные пространства, смог заселить прибрежья удаленного архипелага, находящегося к тому же в столь

высоких широтах — почти на границе сезонно возникающего ледового покрова? А ведь все остальные виды сиреновых, по крайней мере в настоящее время, в основном обитают в тропической зоне.

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо совершить экскурс в не столь уж отдаленное прошлое и представить себе палеогеографическую обстановку времени, которое непосредственно предшествовало голоцену, т.е. новейшему периоду в истории Земли.

Около 20 тыс. лет назад уровень Мирового океана был значительно ниже современного — по наиболее принятой оценке, примерно на 130 м. Тогда между Евразией и Северной Америкой в очередной раз возникла обширнейшая по площади Берингия. Ее северное побережье вы-

давалось на сотни километров в глубь океана за счет осушения значительной части прилежащего шельфа, а нынешние Северная Земля, Новосибирский архипелаг, о.Врангеля и более мелкие острова восточной части евразийской Арктики были наиболее возвышенными участками материка. Берингийская суша перекрывала пролив, соединявший Тихий океан с Северным Ледовитым, в результате чего полностью прекратился водный и тепловой обмен между ними, а между Северной Атлантикой и Ледовитым океаном стал существенно слабее. С одной стороны, это способствовало выхолаживанию последнего, а с другой — вело к потеплению северных вод Тихого океана и прилежащей к ним суши. Поэтому климат на северо-востоке Азии, особенно в летний пери-



Ареал морских коров, или сирен, восстановленный В.Г.Гептнером с соавторами. Знаками вопроса обозначены места возможного обитания сирен в прошлом, а также участки ареала, по которым имеются сведения сомнительного характера. В восточной части Средиземного моря отмечено место захода дюгоня.

од, стал менее суровым. В таких условиях некоторые виды крупных млекопитающих, характерные для мамонтовой фауны — шерстистый носорог, лошадь, бизон, овцебык, сайгак, сам мамонт, пещерный лев и др., — распространились до арктических островов и Аляски. Ареал благородного оленя в то время простирался до Новосибирских о-вов и Колымской низменности, т.е. располагался почти на 1.5 тыс. км северо-восточнее границы современного его распространения в Сибири (верховья Алдана). Восточной Чукотки достигали многие исходно лесные виды растений, а орешник произрастал в верховьях Индигирки [3—5].

Именно в период такого потепления северной части Тихого океана и могла максимально расселиться на север стеллерова корова. Новые акватории она осваивала, вероятно, очень постепенно, а ареал вряд ли ограничивался лишь прибрежной зоной Командорских о-вов.

Необходимо учесть, что потенциально пригодная для заселения стеллеровой коровой зона в северной части Тихого океана весьма давно начала осваиваться человеком. Известно, например, что возраст самых ранних алеутских стоянок — 8700 лет, а конструкция алеутской лодки и особенности орнамента свидетельствуют о генетических связях алеутов с еще более древними амурскими племенами [6]. Для охотников стеллерова корова была легкой и желанной добычей. Ее просто истребили на большей части исходного ареала, который, вероятно, простирался от о-вов Рю-Кю до Калифорнии. К XVIII в. он представлял лишь остатки бывшего ареала. Возле Командорских о-вов стеллерова корова сохранилась лишь потому, что они были безлюдными в то время: камчадалам не были известны, а алеуты посещали острова случайно.

И все же нельзя исключить, что в XVIII в. этот вид существовал не только там. Правда,

В.Г.Гептнер с соавторами, тщательно изучившие большое количество источников, считали, что в историческое время не было никаких надежных свидетельств обитания стеллеровой коровы где-либо за пределами Командорских о-вов, в том числе и на Алеутских [7]. Известно, однако, что немало бумаг Стеллера было затеряно еще в XVIII в., а к нашему времени и из оставшихся сохранились немногие. Но историк Г.Ф.Миллер, участник 2-й Камчатской экспедиции 1733—1741 гг., мог использовать и неизвестные нам теперь сведения. В одной из его работ, переизданной через 238 лет, в 1996 г. (кстати, ссылки на Миллера у Гептнера с соавторами отсутствуют), есть следующая фраза: «Должно думать, что они (т.е. алеуты. — В.К.) питаются по большей части морскими зверями, коих добывают в тамошнем море, а именно: китов, манатов, сивучей, морских котов, бобров (т.е. каланов, или морских выдр. — В.К.) и тюленей... О других обстоятельствах их более ничего не применено, по крайней мере **в тех известиях, которые служат основанием сему описанию, ничего не записано**» [8]. Ясно, что Миллер использовал какие-то письменные источники, скорее всего — дневники или отчеты участников экспедиции. Важно здесь упоминание о добыче алеутами манатов, как называл стеллеровых коров сам открыватель вида.

О широком ареале этого морского млекопитающего сообщил в своей книге Г.Гётцинсон: «В 1885 г. дирекция Британского музея приобрела почти полный скелет этого животного (стеллеровой коровы. — В.К.), теперь вымершего, найденный в плейстоценовых торфяных отложениях на о-ве Беринга. Ранее оно встречалось в изобилии вдоль берегов Камчатки, Курильских островов и Аляски» [9]. На какие сведения ориентировался автор, не известно. Эту работу Гептнер с соавторами

также не цитируют, а о находке ребра на Атту (самом западном острове Алеутской гряды) пишут: «...если оно действительно принадлежит описываемому виду, как правильно считал еще Брандт (1846), то происходит от трупа, принесенного волнами. <...> Оно могло быть завезено и промышленниками, заготовлявшими мясо на Командорских островах» [7]. Но завозом никак нельзя объяснить недавнюю находку ребра морской коровы на эскимосском поселении XVI в. Кангигуксук [10], которое находится на крайнем юго-западе материковой части штата Аляска. Это поселение существовало примерно за 200 лет до открытия русскими Командорских о-вов. Трудно представить, что данное ребро «происходит от трупа, принесенного волнами»: если вслед за Гептнером считать, что только возле Командор обитала в историческое время стеллерова корова, труп должен был проплыть до поселения Кангигуксук на расстояние около 2150 км!

Теперь известны находки костей стеллеровой коровы, датированных доисторическим временем: на о.Адах (группа Андреяновских о-вов) обнаружен обработанный костный фрагмент возрастом около 3700 лет, а на о.Булдырь (Крысьи о-ва) — фрагмент ребра примерно того же возраста [11].

Примечательно, что и Командоры — место обитания стеллеровой коровы в XVIII в. — и районы костных находок (Алеутские о-ва, Аляска) расположены несколько южнее границы распространения сезонных льдов. Так что севернее этот вид просто и не мог существовать. Еще Стеллер отмечал, что зимой, когда появляются плавучие льды, животные задыхаются под ними, и трупы выкидывает на берег, а при штормах не успевших отойти на безопасное расстояние животных разбивает о скалы.

К настоящему времени археологами обследованы много-



Фрагмент карты О.Магнуса. Под изображенной в левой части карты обычной коровой стоит подпись *Vacca marina* — корова морская (цветного изображения на карте не было, оно введено дополнительно).

численные эскимосские стоянки, расположенные севернее перечисленных мест обитания и находок остатков стеллеровой коровы. Но ни на одной стоянке ее кости не обнаружены: сюда трупы не приплывали. В то же время известно, что жители Камчатки еще до открытия Командор и стеллеровой коровы были знакомы с ней, так как изредка трупы этих животных прибывало к камчатским берегам. А они отстоят от о.Беринга всего на несколько сотен, а не тысяч километров.

Скорее всего исходный ареал этого вида сирен был значительно обширнее той «пунктирной линии», которая лишь совсем недавно наметилась и к востоку от Командор — до п-ова Аляска. Фактически — это северная граница потенциально возможного ареала стеллеро-

вой коровы, определяемого ее биологическими и экологическими особенностями. В районах же более благоприятных для обитания (на юг, возможно, до Японии и Калифорнии) она была скорее всего давно — тысячелетия тому назад — поголовно истреблена. Столь крупные и тяжелые животные безусловно разделялись первобытными охотниками в узкой прибрежной полосе, где костные остатки довольно быстро обкатывались волнами, и кости становились неотличимыми от морской гальки. И все-таки остаются шансы, хоть и незначительные, выяснить более распространение стеллеровой коровы при палеонтологических и особенно археологических исследованиях.

Но даже если популяция стеллеровой коровы возле Ко-

мандорских о-вов в XVIII в. действительно оставалась последней, ее существование в столь северном регионе представляет исключительный интерес еще в одном отношении. Есть некоторые основания предполагать, что и в Северную Атлантику мог проникать какой-то вид морских коров.

Вернемся опять во времена последнего понижения уровня Мирового океана, но уже к берегам Европы. Как упоминалось, водный и тепловой обмен между Атлантикой и Северным Ледовитым океаном резко снизился. С одной стороны, это вело к существенному охлаждению вод Северного моря и Арктики с прилежащими к ней побережьями. Но с другой — к потеплению Северной Атлантики южнее Исландско-Фарерского барьера и порога Томсона, по-

скольку не только современные Англия и Ирландия, но и значительная часть окружающего их морского шельфа стали продолжением европейского континента на северо-запад.

Более резкий, по сравнению с современным, климатический градиент оказался благоприятным для расширения скандинавских горных ледников и формирования на значительных пространствах Европы смешанной фауны. В ее составе одновременно присутствовали виды, в настоящее время нигде совместно не обитающие: северный олень, овцебык, лемминг (а из вымерших — мамонт, шерстистый носорог, гигантский олень и др.) вместе с лошадью, бизоном и др. Из отложений нижнего вюрма близ Лондона обнаружены, например, не только остатки пещерной гиены, гиппопотама, гигантского и благородного оленей, первобытного тура, лесного слона, но и... белого медведя, что «может объясняться лишь близостью морского побережья и указывает на широкое прежнее распространение вида по передовым островам Северной Атлантики [12].

Казалось бы, и для морских коров здесь создавались условия, аналогичные тем, что складывались на севере Тихого океана. К тому же и видовое разнообразие сиреновых в Северной Атлантике было больше, чем по побережьям Тихого и Индийского океанов: даже сегодня три из четырех еще существующих видов распространены в Атлантике. Лишь дюгонь, населяющий некоторые побережья Индийского океана и западной части Тихого, в периоды повышения уровня Мирового океана мог проникать в Средиземноморье. В третичное же время отряд сиреновых был богаче всего представлен видами в Европе [1].

В связи с этим невольно вспоминаются и мифологические, как мы привыкли думать, сирены античных времен

(включая и греческий вариант легенды о происхождении скифов). Именно сирены дали название отряду водных млекопитающих — *Sirenia* (надо сказать, что единственная пара молочных желез сирен расположена так же, как у человека). Но только ли к области мифологии относятся многочисленные упоминания античного времени о сиренах Средиземного и Черного морей? Еще Плиний Старший, описывая Понт Эвксинский (т.е. Черное море), сообщал, что туда не входит ни одно вредное для рыб животное, кроме **морских телят** и небольших дельфинов.

Есть и более поздние упоминания такого рода [13]. На карте О.Магнуса середины XVI в. в море около побережья Западной Скандинавии изображена голова плывущей обычной коровы, но с пояснением — *Vacca marina* (т.е. корова морская; сам же автор карты ее безусловно не видел).

Учитывая все сказанное, можно предположить, что какой-то вид морских коров (дюгонь, обыкновенный или африканский ламантин, а может быть, пока еще и не известный вид сирен) обитал у побережий Европы не только в античное время, но даже в XVI—XVII вв. Кстати, климат здесь гораздо мягче, чем у Командорских о-вов: сезонных льдов, под которыми задыхаются морские коровы, у побережий Норвегии, а тем более в Средиземноморье не бывает.

*

Один ли только познавательный интерес представляет былой ареал стеллеровой коровы по южной окраине Берингова моря? Думается, не только.

Эти уникальные морские млекопитающие были важным звеном трофической цепи прибрежно-морских экосистем: потребляя разные морские водоросли и переваривая их, способствовали активной циркуляции биогенов. В тех местах, где

морские коровы выедали водоросли, увеличивалась численность морских ежей, составляющих основу питания каланов. Не исключено, что облегчалась и подводная охота на рыбу стеллерова, или очкового, баклана. Кстати, численность этой исходно массовой нелетающей птицы резко снизилась вскоре после ее открытия, а позже 1852 г. она вообще перестала существовать. В XVIII в. очковый баклан встречался, как и стеллерова корова, только на Командорах, хотя вполне подходящие для гнездования места по северным побережьям Тихого океана были в изобилии. Вряд ли случайны узость и реликтовость ареалов стеллеровой коровы и очкового баклана. О том, что в то время его ареал представлял лишь остатки прежнего, свидетельствуют недавние археологические находки. На о.Амчитка (самом восточном из Крысыных о-вов), на месте древнего алеутского поселения обнаружены костные остатки стеллерова баклана, датированные (по ¹⁴C) периодом 2245—2055 лет назад [11]. Таким образом, не исключено, что и очковый баклан, и стеллерова корова обитали далеко за пределами Командорских о-вов.

Когда морские коровы исчезли, крупные водоросли (макрофиты) образовали в прибрежной полосе сплошные заросли. Известно, что это часто вызывает застой прибрежных вод, их бурное «цветение» и так называемые красные приливы — следствие интенсивного размножения одноклеточных водорослей динофлагеллят. Токсины (один из них — нейротоксин, почти в 50 раз сильнее яда кураре), вырабатываемые некоторыми видами динофлагеллят, могут накапливаться в организме моллюсков и других беспозвоночных животных, по трофической цепи дойти до рыб, каланов, морских птиц и человека и привести к их гибели.

Жизнедеятельность морских коров была очень важна и для

самых бурых водорослей, так как создавала более разнообразные условия для их существования. При отсутствии столь мощного потребителя между разными видами макрофитов возникает острая конкуренция, в которой у берегов Аляски и Алеутских о-вов, например, победу одерживает ламинария. Если же ее искусственно срезать, быстро разрастается гигантская алария (в прибрежных водах макрофиты образуют настоящие подводные леса высотой до 25–30 м ото дна; ско-

рость роста таких водорослей почти в 100 раз больше, чем наземных деревьев).

Все ныне живущие виды сирен включены в «Красную книгу МСОП» и многие национальные Красные книги, чтобы сохранить генофонд этих замечательных животных и постараться обеспечить их дальнейшее воспроизводство. Одновременно это будет способствовать поддержанию нормальной структуры прибрежных и речных экосистем, в состав которых входят сирены.

Можно сделать, однако, и больше, скажем, акклиматизировать дюгоня в наших дальневосточных водах — в прибрежной зоне о.Кунашир, на котором имеется заповедник. Такой проект был предложен В.А.Бычковым в 1991 г. [14]. Представляется, что дюгоня можно поселить и у европейских побережий, на первом этапе — в Средиземноморье. Трудно сказать, осуществляются ли эти планы. Но по крайней мере есть надежда, что ныне живущие и охраняемые сирены не исчезнут безвозвратно. ■

Литература

1. Трофимов Б.А., Громова В.И. Отряд Sirenia, Сиреновые // Основы палеонтологии. Млекопитающие. М., 1962. С.282.
2. Суханов В.Б. Общая характеристика и эволюция сирен (Mammalia: Sirenia) // Ламантин / Под ред. В.Е.Соколова. М., 1986.
3. Каталог млекопитающих СССР. Л., 1981.
4. Юрцев Б.А. Берингия и ее биота в позднем кайнозое // Берингия в кайнозое. Владивосток, 1976.
5. Верховская Н. Условия обитания мамонтовой фауны на северо-востоке Сибири (по палеоботаническим данным) // Биогеография Берингийского сектора Субарктики. Владивосток, 1986.
6. Ляпунова Р.Г. Алеуты и их экосистема // Экология американских индейцев и эскимосов. М., 1988.
7. Гептнер В.Г. и др. Млекопитающие Советского Союза. Т.2. М., 1967.
8. Миллер Г.Ф. Сочинения по истории России. Избранное. М., 1996. С.96.
9. Гётчисон Г. Вымершие чудовища. М., 1898. Вып.1—7.
10. Laughlin W.S. // Amer. Anthropologist. 1985. V.87. P.781.
11. Савинецкий А.Б. Автореф. докт. дис. М., 2000.
12. Верецагин Н.К. Белый медведь и его охрана в Советской Арктике. Л., 1969. С.30.
13. Савельева С.А. Олаус Магнус и его «История северных народов». Л., 1983.
14. Бычков В.А. Целевая программа по восстановлению функциональной целостности высокопродуктивной морской экосистемы методом экологической инженерии. Программа «Дюгонь» // Проблемы защиты окружающей среды и рационального использования в связи с перспективами социально-экологического развития Сахалина и Дальнего Востока. Южно-Сахалинск, 1991.

Техника

Светящиеся солдаты

Во время войны в Персидском заливе пилоты американских ВВС иногда поражали позиции союзных войск, принимая их за подразделения иракской армии. Конечно, из кабины самолета, на скорости 600 км/ч, пилоту нелегко отличить своих от противника. Для решения этой проблемы комитет экспертов, возглавляемый М.Лэдишем (M.Ladisch; Университет Пер-

дью, штат Индиана, США), предложил примешивать в пищевой рацион солдат биологический маркер, который впоследствии выходит из организма через поры кожного покрова и с выдыхаемым воздухом. Благодаря специальным детекторам, которые должны устанавливаться на боевых самолетах, летчики смогут увидеть свои боевые порядки окутанными своеобразным свечением. Ожидается, что оно будет устойчивым в течение суток. Чтобы противник не создал путаницу аналогичным

приемом, маркер, а следовательно, и характер свечения, может меняться каждый день.

Предлагаемый метод по своему назначению схож с уже известной электронной системой IFF (Identification Friend or Foe), которая устанавливается на самолетах, чтобы радиолокационные станции могли отличать своих от чужих. Поскольку код системы периодически меняется, противник не может им воспользоваться.

Science et Vie. 2001. №1009. P.40 (Франция).

Самая массивная черная дыра звездного происхождения

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

В нашей Галактике обнаружена тесная двойная система, один из компонентов которой — обычная звезда, а другой, по-видимому, — черная дыра с массой около $14 M_{\odot}$. Таких крупных черных дыр звездного происхождения астрономы ранее не встречали. Это открытие ставит непростые вопросы перед теорией эволюции массивных звезд. Поясним: в ядрах некоторых галактик заподозрено существование черных дыр с массой в миллионы M_{\odot} , но они не являются прямым продуктом эволюции звезд; их происхождение еще остается загадкой.

Необычная двойная система была обнаружена в 1994 г. с помощью российской космической обсерватории ГРАНАТ, запущенной 1 декабря 1989 г. Она наблюдалась вблизи галактического экватора, в направлении на созвездие Орла, как переменный рентгеновский источник (GRS 1915+105). В оптическом диапазоне источник никак себя не проявил, но в инфракрасных лучах с ним был отождествлен любопытный объект, отнесенный к редкой категории микроквazarов (так в последнее время называют двойные звездные системы, спорадически выбрасывающие вещество с околосвето-

вой и даже с кажущейся сверхсветовой скоростью и этим в миниатюре напоминающие некоторые гигантские квазары). В микроквзарах вещество, падающее с более или менее нормальной звезды на компактный объект (нейтронную звезду или черную дыру), образует аккреционный диск, в центральной части которого создаются условия для ускорения и выброса газовых струй вдоль оси вращения диска. Детальное изучение близких к нам микроквazarов помогает понять процессы, происходящие в далеких квазарах, причем в масштабах, в миллионы раз больших.

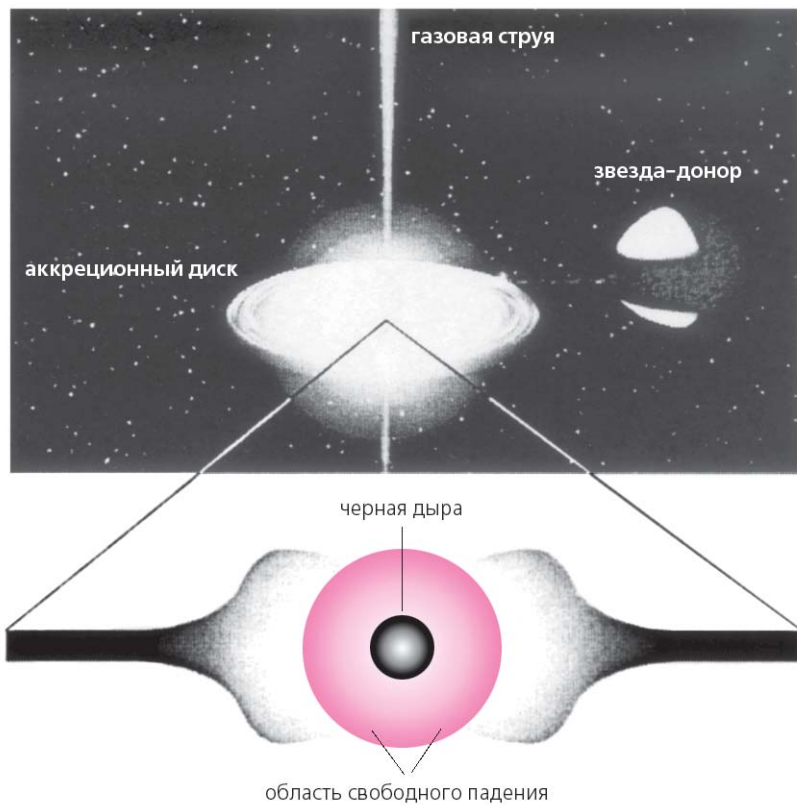
Следует, однако, заметить, что микроквazarы — редкие объекты (в Галактике их можно пересчитать по пальцам), поэтому типичные расстояния между ними и от них до нас — десятки тысяч световых лет. Система GRS 1915+105 удалена от нас почти на 40 тыс. св. лет (около 12 кпк); к тому же в направлении на нее пространство богато межзвездными пылевыми облаками, полностью поглощающими оптическое излучение. Но в близком ИК-диапазоне этот объект можно изучать с помощью крупных телескопов.

Летом 2000 г. Й.Грайнер и его коллеги из Астрофизического института в Потсдаме и Европейской южной обсерватории

в Чили*, используя прибор ISAAC на 8.2-метровом телескопе VLT/ANTU обсерватории Параналь (ЕЮО), получили серию спектров объекта GRS 1915+105 в диапазоне 1—2.5 мкм. Обнаружив характерные полосы оксида углерода и линии металлов, астрономы заключили, что звездой-донором в этой системе служит обычный красный гигант с массой $1.2 \pm 0.2 M_{\odot}$. В прошлом эта звезда была очень похожа на Солнце, а когда состарилась, ее внешние слои расширились и оказались в поле притяжения более массивного компаньона.

Наблюдая, как от ночи к ночи меняется положение линий в спектре источника, астрономы определили, что причиной периодического их смещения служит эффект Доплера, вызванный орбитальным движением звезды вокруг черной дыры. Наблюдаемое движение звезды происходит с периодом 33.5 ± 1.5 сут и амплитудой скорости 140 ± 15 км/с. Очевидно, что это не полная скорость звезды, а лишь ее компонент, параллельный лучу зрения наблюдателя. Для вычисления полной орбитальной скорости звезды необходимо знать угол между лучом зрения и осью ее орби-

* Greiner J., Cuby J.G., McCaugbreen M.J. // Nature. 2001. V.414. P.522—525; ESO Press Release 24/01, 28 November 2001.



Схематическое представление двойной системы GRS 1915+105. Расстояние между звездой-донором и черной дырой равно 0.5 а.е. (половина расстояния от Земли до Солнца). Внизу показана центральная часть аккреционного диска, где вещество сначала постепенно, по спирали, приближается к черной дыре, а затем практически свободно падает по радиусу (показано цветом).

ESO Press Release 24/01, 28 November 2001

тального вращения (i), который, к счастью, довольно точно определяется по движению газа в релятивистских струях, выбрасываемых объектом вдоль оси аккреционного диска, лежащего в плоскости орбиты ($i = 70 \pm 2^\circ$).

Указанных выше данных достаточно для точного вычисления орбитального движения звезды, а значит, и для определения массы притягивающего ее компактного невидимого объекта. С учетом имеющихся неопределенностей его масса составляет $14 \pm 4 M_\odot$. Хотя по наблюдаемым параметрам очень сложно отличить черную дыру от нейтронной звезды, расчеты показывают, что столь массив-

ных нейтронных звезд в природе быть не может. Поэтому астрономы не сомневаются: перед ними черная дыра, причем самая массивная среди найденных до сих пор черных дыр звездного происхождения. Следом за ней в порядке уменьшения массы стоят невидимые компактные объекты в двойных системах V404 Лебедя ($8-12 M_\odot$) и XTE J1118+480 ($6.5-10 M_\odot$).

Казалось бы, астрономы должны радоваться столь однозначному обнаружению черной дыры, однако сделанное открытие скорее озадачило их: теория эволюции массивных звезд в двойных системах не позволяет объяснить формирование

черных дыр с массой более $5-7 M_\odot$. Дело в том, что очень массивные звезды — предки черных дыр — в течение своей жизни так интенсивно теряют вещество в форме звездного ветра, что к концу эволюции их масса снижается в несколько раз (даже звезды с начальной массой $25-45 M_\odot$ едва ли способны породить черную дыру с массой более $10 M_\odot$). Жизнь по соседству с другой звездой лишь усугубляет эту проблему. Эволюция звезд в двойной системе отличается от эволюции одиночных звезд тем, что, во-первых, вероятен обмен веществом между компонентами и, во-вторых, возможна стадия их эволюции в общей оболочке, когда более массивный объект в конце своей жизни накрывает расширяющейся оболочкой менее массивного компаньона. В первом случае меньший компаньон захватывает часть вещества у предка черной дыры, а во втором — еще и выбрасывает его за пределы системы. Впрочем, еще 15 лет назад некоторые астрономы рассматривали возможность появления черных дыр с массой более $10 M_\odot$, предлагая для этого довольно сложные сценарии, например совместную эволюцию трех звезд, в ходе которой две из них объединяются в массивную черную дыру. Нынешнее открытие привлекает интерес к сценариям, которые прежде казались весьма искусственными.

Отличительная черта GRS 1915+105 в ряду других микроквазаров — высокая светимость аккреционного диска, близкая к так называемой эддингтоновской светимости, при которой давление излучения на падающее вещество начинает превосходить его притяжение к центральному объекту. У других микроквазаров светимость диска на порядок ниже эддингтоновской, поэтому движением вещества в диске управляют гравитация, газовое давление и вязкость; их взаимодействие делает диск термически устойчивым. Но в ак-

креационном диске GRS 1915+105 доминирует давление излучения, поэтому его центральная часть должна быть квазисферической, а движение вещества — неустойчивым. Вероятно, этим объясняются сильные тепловые флуктуации в диске, проявляющиеся в мощных рентгеновских вспышках, а также формирование быстрых газовых струй (джетов). Правда, в отношении джетов следует заметить, что эддингтоновская светимость не может быть главной причиной их появления, поскольку они наблюдаются и у других микроквазаров, светимость которых существенно ниже эддингтоновской.

Наконец, еще одна проблема из вставших перед астрофизиками при изучении объекта GRS 1915+105 касается вращения черной дыры. Как известно, гравитационное поле вращающейся черной дыры имеет «вихревой» компонент, который вовлекает в движение окружающее вещество. Расчеты показывают: когда черная дыра быстро вра-

щается в ту же сторону, что и аккреционный диск, его внутренний край (последняя устойчивая орбита) подходит ближе к черной дыре и вещество там оказывается значительно горячее, чем вблизи невращающейся черной дыры. Сейчас известны две очень горячие рентгеновские двойные системы — обсуждаемая здесь GRS 1915+105 и система GRO J1655-40 (рентгеновская Новая Скорпиона 1994), в которой черная дыра имеет массу 4–6 M_{\odot} . Предполагается, что именно они должны содержать черные дыры с очень быстрым вращением.

Однако кроме высокой температуры существует еще один «тест на вращение»: сгустки горячего вещества, движущиеся с околосветовой скоростью в области последней устойчивой орбиты аккреционного диска, должны демонстрировать квазипериодические колебания блеска, поскольку их яркость существенно меняется при движении к нам и от нас. Такие коле-

бания в рентгеновском излучении указанных источников действительно наблюдаются: на частоте 300 Гц — у GRO J1655-40 и 67 Гц — у GRS 1915+105. В принципе это верно отражает разницу в параметрах черных дыр: поскольку скорость движения вещества на последней устойчивой орбите определяется скоростью света, а протяженность этой орбиты (т.е. радиус Шварцшильда) пропорциональна массе черной дыры, то частота должна быть обратно пропорциональна массе. Однако налицо количественные расхождения. Все попытки точно согласовать частоту рентгеновских пульсаций, массу черных дыр и температуру аккреционных дисков одновременно у двух объектов оказались безуспешными. Возможно, разрешить этот комплекс загадок поможет учет магнитного поля, порождаемого релятивистским вращением: джет может выноситься из системы момент вращения в виде магнитного поля. ■

Физика. Охрана окружающей среды

Баварский реактор: запуск откладывается

В середине 2001 г. в Гархинге под Мюнхеном (земля Бавария, ФРГ) было завершено сооружение нового атомного реактора, предназначенного для производства нейтронов в исследовательских целях. Строительство и оснащение обошлось примерно в 500 млн долл. Однако запуск его многократно откладывался: правительство ФРГ, образованное коалицией социал-демократов и «зеленых» (традиционных противников АЭС), не давало

на это окончательного разрешения.

Дело в том, что реактор должен использовать в качестве топлива высокообогащенный уран, потенциально применимый при создании ядерного оружия. Федеральные власти требовали, чтобы он был до 2006 г. переориентирован на уран средней обогащенности. Этому противились специалисты и правительство Баварии, утверждая, что такой переход технически невозможен. В конце 2001 г. стороны, наконец, нашли компромисс: решено растянуть процесс переключения на новое топливо на 10 лет, что, по мнению видного физи-

ка В.Петри (W.Petry; Мюнхенский технический университет), вполне реально.

Еще одно препятствие связано с вопросом о радиоактивных отходах реактора. Федеральный министр Ю.Триттин (J.Trittin) отказывается давать разрешение, пока ему не будет предоставлен приемлемый план хранения подобных материалов.

Постоянные задержки уже привели к тому, что некоторые талантливые исследователи отказались от участия в работе; руководство проекта опасается еще большего их исхода в случае дальнейшей неопределенности.

Science. 2001. V.294. №5543. P.76 (США).

Ростовая диссимметризация кристаллов

А.Г.Штукенберг

Что такое ростовая диссимметризация?

Каждый кристалл обладает определенной симметрией, которая проявляется и в симметрии его физических свойств — электрических, тепловых, оптических. Но иногда мы сталкиваемся с кристаллами, симметрия которых ниже присущей данному соединению. В таких случаях говорят о явлении *диссимметризации*. Например, если кристалл принадлежит кубической сингонии, то он не должен просветляться между скрещенными поляризаторами. Оптическая индикатриса кубического кристалла — шар. Если же в скрещенных поляризаторах наблюдаются интерференционные окраски, то имеет место двойное лучепреломление (двупреломление), оптическая индикатриса представляет собой эллипсоид, и реальная симметрия кристалла ниже.

Исследователи, впервые сталкивающиеся с более низкой симметрией хорошо известного им вещества, логично предполагают, что перед ними новая фаза. Часто именно так и бывает. Существуют различные фазы одного состава, имеющие свои области устойчивости и отличающиеся по структуре, симмет-



Александр Григорьевич Штукенберг, кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры кристаллографии геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Область научных интересов — кристаллооптика, кристаллохимия.

рии и физическим свойствам. Термин «диссимметризация» в таком случае практически не используется. Однако иногда мы имеем дело с гораздо более интересным и сложным явлением — понижением симметрии кристалла, не связанным с обычным термодинамическим фазовым переходом, а обусловленным самим процессом роста кристалла. Именно такому типу диссимметризации — *ростовой диссимметризации* — и посвящена данная статья.

Идея о том, что при росте кристаллов может изменяться их реальная симметрия, давно витала в воздухе. Достаточно четко она была высказана еще

в самом начале 60-х годов XX в. А.В.Шубниковым. Однако первые экспериментальные свидетельства были получены лишь через 10 лет М.Н.Самойловичем и Л.И.Цинобером с коллегами на примере кристаллов кварца. Несколькими годами позже в Казани другая группа ученых под руководством В.М.Винокурова также экспериментально обнаружила это явление для селената цинка и натриевого канкринита. Наконец, в самом конце 70-х годов ростовая диссимметризация была независимо открыта японскими исследователями Акизуки и Сунагавой для кристаллов адуляра, а затем и для многих других минералов.

© А.Г.Штукенберг

Кристаллы твердых растворов и фазовые переходы

Упорядочение—разупорядочение. Явление ростовой диссимметризации возможно только в твердых растворах. Например, кристалл KCl характеризуется кубической структурой. Добавим к нему некоторое количество KBr, который также обладает кубической структурой. При этом симметрия полученного вещества не изменится. Часть позиций, предназначенных для атомов хлора, окажется заполненной атомами брома, и общая формула будет выглядеть так — $K(Cl,Br)$. Соединения этого типа мы будем называть твердыми растворами, а замещение различных атомов в одной позиции — изоморфным замещением.

Для твердого раствора конкретного состава (например, латуни — сплава Cu и Zn) может существовать несколько структур, различие между которыми состоит главным образом в степени упорядоченности замещающих друг друга атомов по одним и тем же позициям в кристаллической структуре. Так, в латуни атомы меди и цинка при одних условиях статистически неупорядоченно заполняют две неэквивалентные по-

зиции в объемноцентрированной кубической решетке. При других же условиях одна из позиций заполняется только атомами меди, другая — только атомами цинка. Хотя относительное расположение атомов в структуре остается неизменной, атомы меди и цинка располагаются слоями, формируя кристалл тетрагональной симметрии. Каждой из фаз (кубической и тетрагональной) соответствует своя область устойчивости, и подобный термодинамический фазовый переход называется переходом типа упорядочение—разупорядочение.

Кинетические фазовые переходы. Будем считать таким переходом процесс образования некоторой фазы определенного состава в области термодинамической устойчивости другой фазы такого же состава под влиянием кинетических факторов — скорости роста кристалла, избирательности присоединения частиц и др. Впервые этот термин был введен А.А.Черновым для описания процесса роста неупорядоченного кристалла вместо равновесного упорядоченного, когда вследствие больших скоростей роста небольшие энергетические различия между позициями становятся несущественными. Мы же имеем обратный про-

цесс — рост упорядоченного кристалла вместо равновесного неупорядоченного.

Посмотрим на кристалл, изображенный на рис.1. Показанные позиции в нем неупорядоченно заполняются двумя типами атомов. Все позиции абсолютно эквивалентны в объеме кристалла, однако они могут стать геометрически и энергетически неэквивалентными на его поверхности. Эту неэквивалентность можно легко увидеть, сравнив длину связей атома, встраивающегося в кристалл, и атомов, уже находящихся в объеме кристалла (стрелки между атомами на рисунке). Если определенная позиция заполняется атомами только одного сорта, то данный эффект не может сказаться на росте кристалла. Однако если позиция заполняется атомами нескольких сортов, то возникшая неэквивалентность позиций может привести к их упорядоченному заполнению изоморфными атомами, свойства которых различны, и первая позиция может стать более выгодной для одного сорта атомов, а вторая — для другого. В поверхностном слое кристалла формируется упорядоченное состояние. Затем этот слой перекрывается новыми, и таким образом заполняется объем кристалла. Но в объеме

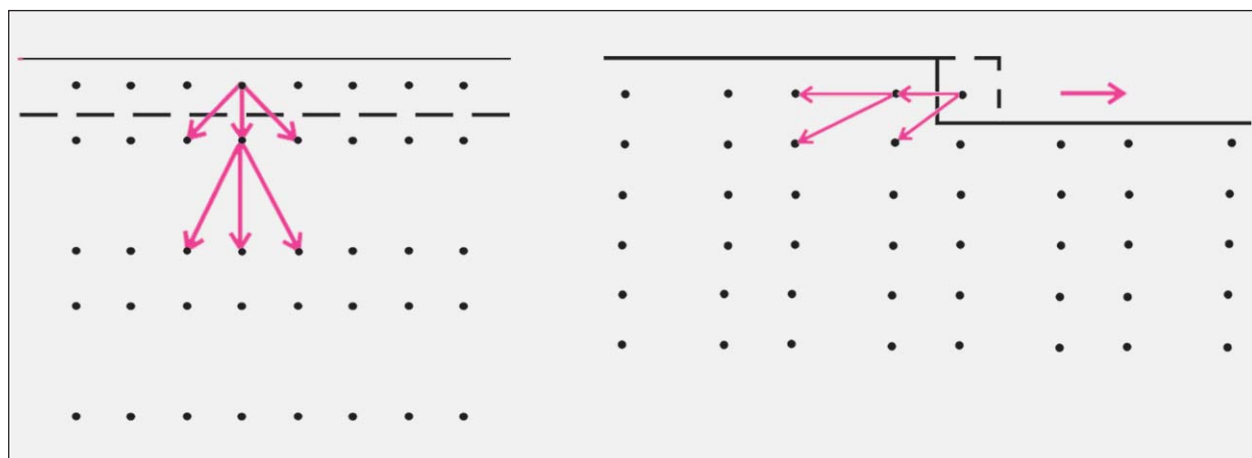


Рис.1. Геометрическая неэквивалентность позиций на поверхности кристалла, эквивалентных в его объеме. Слева — неэквивалентность атомов относительно грани кристалла, справа — относительно ступени на его поверхности.

все позиции строго эквивалентны, поэтому возникшее упорядоченное состояние — термодинамически неустойчиво, метастабильно. Однако переход от упорядоченного метастабильного состояния к неупорядоченному равновесному может происходить чрезвычайно медленно, так как скорость диффузии в твердом теле очень мала.

При этом упорядоченное состояние не может называться фазой в нашем обычном понимании, поскольку его возникновение зависит главным образом не от термодинамических параметров (таких как давление и температура), а от кинетических условий роста кристалла и структуры поверхности растущей грани. Даже в пределах одного монокристалла упорядоченность может быть различной.

Здесь мы имеем дело с ростовой диссимметризацией. Рассмотрим характерные особенности этого явления.

Секториальность и субсекториальность

В соответствии с фундаментальным принципом Кюри, под внешним воздействием кристалл изменяет свою точечную симметрию так, что сохраняет лишь элементы симметрии, общие с элементами симметрии воздействия, которым в данном случае служит растущая поверхность кристалла. Результирующая точечная симметрия кристалла должна понизиться до точечной симметрии его граней.

Часто кристалл образован гранями нескольких типов (октаэдра, куба и ромбододекаэдра, как, например, в кристаллах квасцов). Каждый тип содержит несколько граней. Процесс диссимметризации может идти по-разному для разных граней одного кристалла, и участки кристалла, сформированные одной гранью (пирамиды, или *секто-*

ра роста), будут обладать различной структурой и симметрией. Таким образом, мы получаем единый монокристалл, симметрия и структура которого различна в отдельных секторах роста. Такое поведение невозможно при обычном термодинамическом фазовом переходе.

Различия в строении, составе и свойствах отдельных секторов роста одного кристалла принято называть *секториальностью*. При ростовой диссимметризации секториальность наблюдается всегда. Сектора роста, связанные с различными типами граней, обладают неодинаковой кристаллической структурой, а различные сектора роста одного типа граней — схожей структурой, но по-разному ориентированной относительно единой системы координат кристалла.

Наиболее легко секториальность можно обнаружить по поведению оптической индикатрисы, каждый радиус-вектор которой пропорционален показателю преломления кристалла в данном направлении. Значения показателей преломления очень чувствительны к небольшим искажениям кристаллической структуры. Возникающие при этом необычные для данного кристалла оптические эффекты принято называть *оптическими аномалиями*. Рассмотрим кристалл квасцов

$K_{0.5}(NH_4)_{0.5}Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, изображенный на рис.2. Квасцы принадлежат кубической сингонии и не должны обнаруживать двупреломления. В действительности наблюдается более сложная картина, когда все сектора роста двупреломляют и характеристики оптической индикатрисы в них различны.

В секторах роста октаэдра $\{111\}$ оптическая индикатриса представляет собой эллипсоид вращения с главной осью, направленной перпендикулярно поверхности кристалла. Но грани октаэдра в кристаллах квасцов содержат только один элемент симметрии — ось третьего

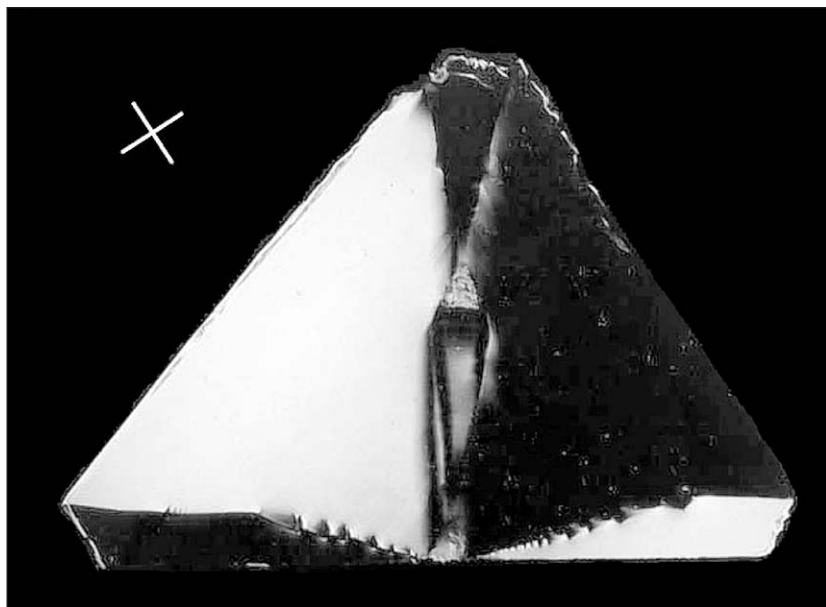


Рис.2. Кристалл квасцов $K_{0.5}(NH_4)_{0.5}Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, помещенный между скрещенными поляризаторами (крест в левом верхнем углу показывает ориентировку поляризаторов). Размер кристалла — 7 см. Четыре попарно гаснущих сектора роста октаэдра слагают основную часть кристалла. На вертикальной границе двух секторов роста октаэдра расположен маленький сектор роста куба, а на горизонтальных границах секторов роста октаэдра — небольшие сектора роста ромбододекаэдра.

Фото автора

порядка, и сектор роста октаэдра должен обладать в первом приближении тригональной симметрией, что и приводит к оптической индикатрисе в виде эллипсоида вращения. При этом направление осей третьего порядка в отдельных секторах роста кристалла различно, т.е. кристалл не обладает единой оптической индикатрисой, даже если сложен только секторами роста октаэдра.

Оптическая индикатриса секторов роста ромбододекаэдра {110} и куба {100} представляет собой трехосный эллипсоид, достаточно сложным образом ориентированный относительно положения грани кристалла. Это также укладывается в данную гипотезу, поскольку симметрия граней ромбододекаэдра и куба моноклинная и ромбическая соответственно, а оптическая индикатриса для таких симметрий кристалла именно трехосный эллипсоид.

Однако и в пределах одного сектора роста кристалл может обладать различной структурой и, как следствие, различными оптическими свойствами. Это связано с тем, что кристаллы часто растут ступенями, распространяющимися по спирали от центров на грани. Поэтому симметрия возникающего кристалла определяется не только симметрией грани, но и симметрией ступеней на этой грани. Такой тангенциальный рост кристалла схематически показан на рис.1 (справа). Ступени различных ориентаций на одной грани кристалла могут формировать участки с различной структурой. Ростовые спирали на гранях кристалла нередко имеют форму многоугольника (на гранях октаэдра кристаллов квасцов это треугольники), что приводит к формированию нескольких (в данном случае трех) участков с различной кристаллической структурой и оптическими свойствами. Подобный эффект называется *субсекториальностью*, и он действительно наблюдается в кристаллах.

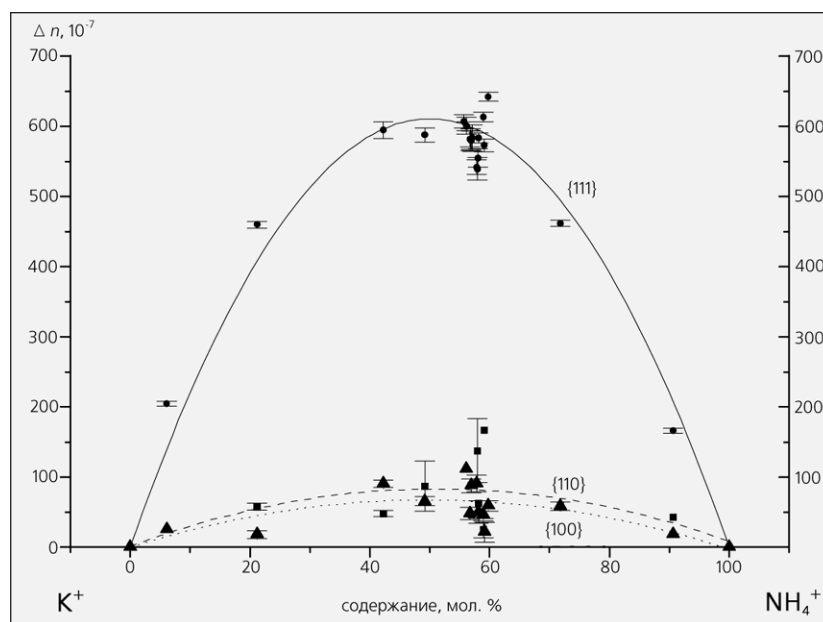


Рис.3. Зависимость величины аномального двупреломления (Δn) квасцов $(K, NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ от их состава в разных секторах роста: октаэдра {111}, ромбододекаэдра {110} и куба {100}.

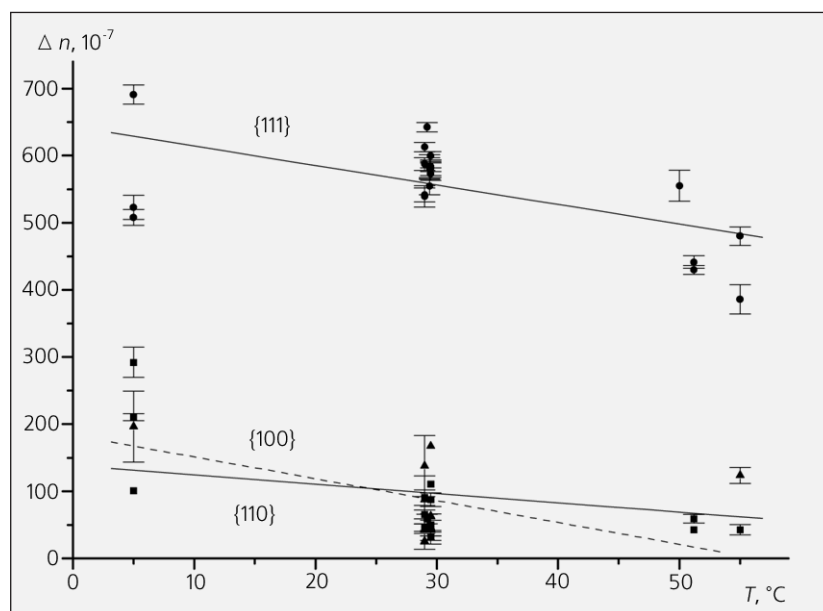


Рис.4. Зависимость величины аномального двупреломления (Δn) квасцов $(K, NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ от температуры роста кристалла в разных секторах роста: октаэдра {111}, ромбододекаэдра {110} и куба {100}.

Методы обнаружения диссиметризации

Для выявления ростовой упорядоченности атомов используются рентгеновские и спектроскопические методы.

Рентгеноструктурный анализ позволяет определять реальное расположение атомов в кристаллах и, казалось бы, должен сразу давать ответ на вопрос, какова степень упорядоченности атомов в структуре

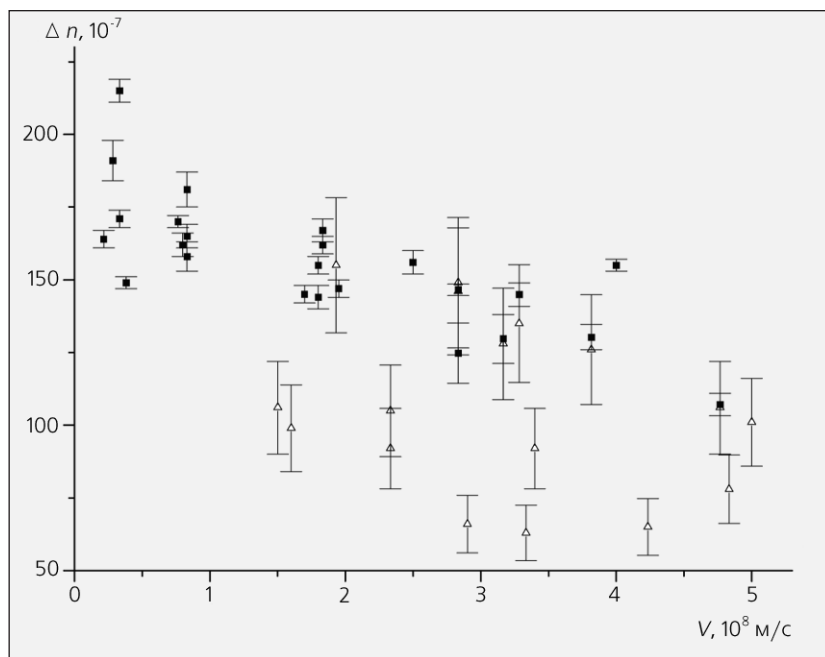


Рис.5. Зависимость величины аномального двупреломления (Δn) квасцов $K(Al, Cr)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ от скорости роста кристалла в разных секторах: октаэдра {111}, ромбододекаэдра {110} и куба {100}. Незакрашенные значки соответствуют росту при естественной конвекции, черные — при интенсивном перемешивании раствора.

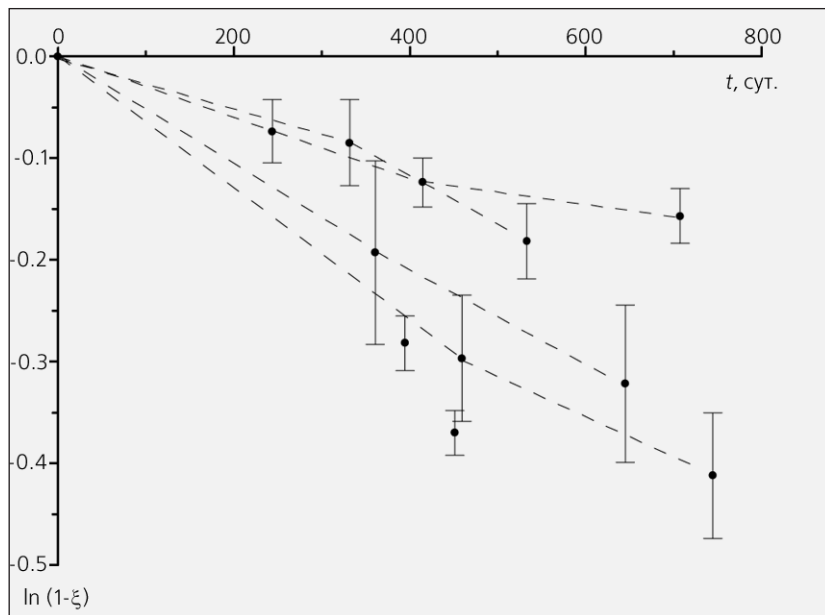


Рис.6. Степени полноты реакции отжига при температуре $50^\circ C$ ($\xi = 1 - \Delta n / \Delta n_0$, где Δn и Δn_0 — текущее и начальное значение величины двупреломления в кристалле) в зависимости от длительности эксперимента (t). Пунктиром соединены точки, полученные для кристаллов изоморфного ряда $(NH_4, K)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

и какими дополнительными искажениями кристаллической решетки это сопровождается. Однако, как правило, искажения решетки так невелики, что определяются только при тонких прецизионных исследованиях. Тем не менее ростовая упорядоченность замещающих друг друга атомов была обнаружена рентгеновским анализом в кристаллах гранатов $Ca_3(Al, Fe)_2(SiO_4)_3$ и топаза $Al(SiO_4)(F, OH)_2$.

Спектроскопические методы гораздо более чувствительны к обнаружению упорядочения атомов, но часто содержат ограничения по химическому составу и структуре исследуемого кристалла. Наиболее широко используются электронный парамагнитный резонанс и инфракрасная спектроскопия. С их помощью успешно изучалась диссимметризация кварца, селената цинка, топаза, зеленого граната — гроссуляра.

Ростовая диссимметризация и состав кристалла

Как мы уже говорили, для возникновения ростовой диссимметризации необходим твердый раствор, в котором возможно упорядочение замещающих друг друга атомов. Существуют две принципиально различные зависимости степени диссимметризации от состава кристалла. В первом случае — степень упорядочения не зависит от соотношения замещающих друг друга атомов. Так, в кордиерите $Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$ отношение Si к Al примерно постоянно при разных степенях упорядоченности (при сильном изменении их отношения мы просто не получим кордиерит, а будем иметь дело с другой кристаллической фазой). Во втором — степень упорядоченности зависит от абсолютных концентраций замеща-

ющих друг друга атомов. Например, в квасцах $(K, NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ конечные члены ряда $(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ и $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) оптически изотропны, а промежуточные — обнаруживают аномальное двупреломление, причем максимальное двупреломление наблюдается в середине изоморфного ряда (рис.3). Теоретический анализ процесса упорядочения двух изоморфных атомов по двум типам позиций предсказывает именно такую параболическую зависимость степени упорядоченности (а значит, и характеристик аномального двупреломления) от состава кристалла.

Кроме соотношения концентраций изоморфных ионов на диссимметризацию влияет и концентрация различных примесей. Так, возможно изменение степени ростовой упорядоченности в кристаллах гранатов и кордиерита в зависимости от присутствия небольших количеств примесей в среде кристаллизации.

Влияние температуры и скорости роста кристалла

Для определенного атома предпочтение одной позиции перед другой незначительно, что связано именно с кинетическим характером процесса ростовой диссимметризации, когда различия в заселенностях возникают из различий в окружении атома на поверхности и в объеме кристалла. При увеличении температуры образования кристалла увеличивается энергия температурных колебаний атомов, и энергетические различия между позициями становятся еще менее существенными. Это приводит к ослаблению ростовой диссимметризации (и связанных с ней дополнительных эффектов, в том числе оптических аномалий). Подобную зависимость мы наблюдали

(рис.4) для кристаллов квасцов $K_{0.4}(NH_4)_{0.6}Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

Влияние скорости роста кристалла в чем-то сходно с влиянием температуры кристаллизации. При больших скоростях роста поток атомов на поверхность кристалла увеличивается, у них не остается времени для выбора наиболее предпочтительных позиций, и атомы встраиваются в любую более или менее подходящую. Таким образом, повышенные скорости роста кристалла должно приводить к разупорядочению структуры и ослаблению диссимметризации. Этот эффект нами наблюдался на кристаллах квасцов (рис.5)

$K(Al, Cr)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

Возникновение наиболее упорядоченной (т.е. наиболее неравновесной) структуры при наименьших отклонениях от равновесия — факт достаточно неожиданный с точки зрения термодинамики, которая предполагает формирование равновесной фазы при минимальных отклонениях от термодинамического равновесия, т.е. при очень низких скоростях роста кристалла.

Отжиг кристалла

Поскольку упорядоченное состояние, возникающее при диссимметризации, метастабильно, оно самопроизвольно стремится перейти в термодинамически равновесное неупорядоченное состояние. Единственная преграда на пути к этому — низкая скорость диффузии в твердом теле при низких температурах ($T/T_{\text{плав}} < 0.6$). Если мы повысим температуру кристалла, то скорость диффузии увеличится, и переход из метастабильного упорядоченного состояния в неупорядоченное равновесное может произойти за достаточно короткое время. Исчезновение при отжиге оптических аномалий, вызываемых ростовой диссимметризацией, известно для кристаллов граната, топаза, кварца. Мы исследо-

вали кинетику уменьшения аномального двупреломления при отжиге кристаллов квасцов (рис.6). Так как квасцы плавятся при температуре около $90^\circ C$, температура отжига варьировала от 20 до $80^\circ C$, а эксперимент длился от двух часов до двух лет. Было установлено, что энергия активации перехода из анизотропного состояния в изотропное близка к энергии активации самодиффузии катионов в ионных кристаллах, а средний диффузионный путь атома за время отжига составлял несколько элементарных ячеек, что полностью соответствует предложенному механизму ростовой диссимметризации.

Может создаться впечатление, что явление ростовой диссимметризации полностью изучено и больше не таит в себе загадок. Однако это далеко не так. Механизм ростовой диссимметризации, продемонстрированный на рис.1, к сожалению, не имеет прямых экспериментальных доказательств, хотя для некоторых кристаллов (квасцов, гранатов, топаза, кварца) существует большое количество подтверждающих косвенных данных. Следующим этапом в исследовании ростовой диссимметризации должно стать подробное изучение поверхности растущего кристалла, сравнение предпочтительности одних структурных позиций перед другими и сопоставление с данными рентгеноструктурного анализа. Только такой подход может дать надежные экспериментальные доказательства*.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 96-05-65577.

* Дополнительная информация по данной теме и необходимая библиография имеются в обзорной статье: Штукенберг А.Г., Пущин Ю.О. Оптические аномалии в кристаллах // Зап. Всесоюз. минералог. общ-ва. 1996. Ч.125. №4. С.104—120.

Сегнетоэластические кристаллы: основные свойства, влияние дефектов

С.А.Гриднев

Н е совсем обычное сочетание слов «сегнетоэластический кристалл» или «эластический кристалл» может вызвать некоторое недоумение читателя: бытовые представления о кристалле и об эластичном материале как-то не стыкуются. Однако такие кристаллы на самом деле существуют и активно изучаются. Поэтому вполне естественно возникают вопросы: чем они примечательны и почему к их исследованию проявляется большой интерес? Попробуем разобраться в этом.



Станислав Александрович Гриднев, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета. Область научных интересов — сегнетоэластики, сегнетоэлектрики, дипольные стекла, суперионники, высокотемпературные сверхпроводники.

Сегнетоэластик — что это?

Можно дать следующее определение сегнетоэластическим кристаллам, или сегнетоэластикам, как часто их называют. *Сегнетоэластики* — это особый класс кристаллических твердых тел, в которых при структурном фазовом переходе из более симметричной (параэластической) в менее симметричную (сегнетоэластическую) фазу спонтанно (самопроизвольно) возникает деформация кристаллической решетки относительно исходной. Наблюдается эта деформация в определенном температурном интервале, причем

ее можно сменить на противоположную, прилагая к кристаллу внешнее механическое напряжение.

Кристаллы отличаются от некристаллических твердых тел тем, что их физические свойства (механические, электрические, магнитные, оптические и др.) зависят от направления в кристалле, т.е. все кристаллы анизотропны. Анизотропия свойств обусловлена периодическим расположением атомов в кристалле и связана с симметрией его кристаллической решетки. Математически анизотропные свойства обычно представляют в виде некоторой квадратной матрицы (тензора),

включающей в себя полный набор всех компонент какого-либо свойства для разных направлений. Первый индекс у каждой компоненты указывает строку, а второй — столбец, в котором стоит компонента. Число индексов равно рангу тензора. Физические свойства описываются тензорами от нулевого до четвертого ранга. Тензор нулевого ранга используется для величин, не зависящих от направления (например, для плотности и теплоемкости), — это скаляры, они изотропны для всех кристаллов. Тензором первого ранга (вектором) характеризуется, например, пьезоэлектрический эффект, второго ранга —

© С.А.Гриднев

теплопроводность, третьего ранга — пьезоэлектрический эффект, четвертого — упругие свойства кристаллов.

Упругие свойства большинства твердых тел при достаточном малых механических напряжениях подчиняются обобщенному закону Гука, связывающему напряжение σ_{ik} и деформацию* ξ_{lm} линейной зависимостью

$$\sigma_{ik} = C_{iklm} \xi_{lm}, \quad (1)$$

где C_{iklm} — тензор упругих жесткостей.

Иногда закон Гука формулируют иначе:

$$\xi_{ik} = S_{iklm} \sigma_{lm}, \quad (2)$$

где S_{iklm} — тензор упругих податливостей. Тензоры C_{iklm} и S_{iklm} симметричны относительно перестановки индексов в каждой паре и пар индексов между собой.

Для кристаллов с низкой симметрией полное описание упругих свойств требует знания большого числа независимых компонент упругой податливости или жесткости по разным направлениям. Например, для цинка их пять, а для кристалла триглицинсульфата — 13. Очевидно, что деформация — реакция кристалла на воздействие внешнего напряжения — также должна содержать большое число компонент ξ_{ik} , определяемых как симметрией кристалла, так и направлением воздействия.

Если изменяется лишь температура кристалла, мы имеем дело с ненаправленным воздействием, и результирующая деформация, возникающая при этом (тепловое расширение), оказывается однородной и не нарушает симметрии кристалла. Спонтанная деформация в сегнетоэластическом кристалле также появляется при изменении температуры (охлаждении ниже точки фазового пе-

рехода), но здесь ситуация иная, отличная от теплового расширения. В результате фазового перехода в сегнетоэластике обязательно возникает новая компонента деформации, запрещенная в высокосимметричной фазе; именно она и порождает новый вид перехода — сегнетоэластический [1].

Различают чистые сегнетоэластики — кристаллы, обладающие только сегнетоэластическими свойствами, но не обнаруживающие сегнетоэлектрического или ферромагнитного поведения, и смешанные (комбинированные) сегнетоэластики — кристаллы, являющиеся одновременно сегнетоэластиками и сегнетоэлектриками или сегнетоэластиками и ферромагнетиками. К числу первых относятся кристаллы ортофосфата свинца $Pb_3(PO_4)_2$, тригидроселенита калия $KH_3(SeO_3)_2$ и др.; к числу вторых — кристаллы титаната бария $BaTiO_3$, молибдата гадолиния $Gd_2(MoO_4)_3$, дигидрофосфата калия KH_2PO_4 и др. Хотя не каждый сегнетоэлектрик или ферромагнетик оказывается сегнетоэластиком, класс сегнетоэластических кристаллов, как теперь установлено — самый многочисленный класс кристаллов, испытывающих структурные фазовые переходы. Как и сегнетоэлектрики, они могут быть одноосными, в которых спонтанная деформация возникает только вдоль одной из осей кристалла, если это продольная компонента ξ , или вокруг одной из осей кристалла при сдвиговой компоненте деформации (тригидроселенит калия, молибдат гадолиния), а также многоосными (например, ортофосфат свинца, титанат бария).

На возможность существования фазовых переходов, сопровождающихся одной только спонтанной деформацией, впервые указал наш соотечественник В.Л.Инденбом еще в 1960 г., однако только в 1969 г. японский ученый К.Аизу ввел в физику твердого тела специ-

альный термин «сегнетоэластик» (или «ferroelastic» в иностранной научной литературе) и показал необходимость отдельного рассмотрения сегнетоэластических фазовых переходов. Вскоре стало ясно, что и на макроскопическом, и на микроскопическом уровне сегнетоэластики обнаруживают ряд существенных отличительных особенностей в поведении. Таким образом, теперь не вызывает сомнения тот факт, что они заслуживают самостоятельного изучения.

О структурных метаморфозах

Среди различных типов фазовых переходов в твердых телах, когда изменяются различные характеристики (электронные, магнитные, и др.), наиболее часто встречаются структурные фазовые переходы — такие, при которых трансформируются структура и симметрия кристалла. Структурные переходы принято делить на две большие группы: реконструктивные и дисторсионные. Первые сопровождаются перемещением атомов на большие расстояния и радикальной перестройкой структуры, при вторых происходит небольшое смещение атомов — всего на доли элементарной ячейки. В последнем случае исходная структура искажается слабо, и для описания вводят так называемый параметр перехода.

Параметр перехода — некоторая характеристика, отсутствующая в высокосимметричной фазе и появляющаяся в результате фазового перехода в низкосимметричной фазе. В этом качестве чаще всего выступает макроскопическая физическая величина, легко измеряемая в физическом эксперименте — электрическая поляризация P , намагниченность M , деформация ξ и др.

В окрестности структурного перехода практически все физические свойства (диэлектри-

* Здесь под деформацией мы будем понимать безразмерную величину, представляющую собой отношение удлинения к длине образца при растяжении—сжатии или отношение длины дуги, на которую смещается верхнее сечение образца относительно нижнего, к длине образца при кручении.

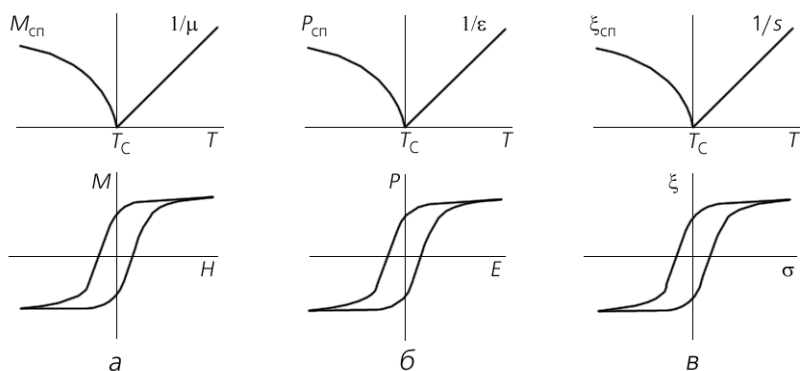


Рис. 1. Температурные зависимости спонтанной намагниченности M_{sp} , поляризации P_{sp} и деформации ξ_{sp} — ниже точки Кюри; обратных значений магнитной проницаемости μ , диэлектрической проницаемости ϵ и упругой податливости s — выше точки Кюри, и петли гистерезиса $M(H)$, $P(E)$ и $\xi(\sigma)$ для ферромагнетика (а), сегнетоэлектрика (б) и сегнетоэластика (в).

ческие, упругие, электрооптические, пьезоэлектрические и др.) ведут себя необычно, аномально. Соответствующие величины изменяются скачком, проходят через максимум и т.д. Если, например, параметром перехода служит компонента вектора поляризации \mathbf{P} (сегнетоэлектрический фазовый переход), то аномально при температуре фазового перехода (в точке Кюри T_C) изменяется диэлектрическая проницаемость ϵ , если же параметр перехода — вектор намагниченности \mathbf{M} (ферромагнитный фазовый переход), то магнитная проницаемость μ , а если параметр перехода — деформация ξ (сегнетоэластический фазовый переход), то упругая податливость s .

Как правило, спонтанно возникающие величины \mathbf{P} , \mathbf{M} или ξ по-разному зависят от соответственно внешнего электрического поля \mathbf{E} , магнитного поля \mathbf{H} или механического напряжения σ , когда те увеличиваются и уменьшаются — говорят, что имеет место гистерезис. Гистерезисные кривые $P(E)$, $M(H)$ и $\xi(\sigma)$ отражают тот факт, что направление векторов спонтанной поляризации и намагниченности, знак продольной

(растяжение—сжатие), сдвиговой деформации могут быть изменены на обратные или переориентированы на определенный угол под действием внешних E , H или σ . Несмотря на различную природу этих явлений, их объединяет качественно одинаковое поведение основных, характерных для этих классов кристаллов, свойств: магнитных (а), электрических (б) и механических (в) — см. рис.1. Наличие в названиях таких веществ общей части «ферро»* дало основание ввести для них общее название — ферроионичные кристаллы, или *ферроионички*. Можно сказать, что сегнетоэластики — это механические аналоги сегнетоэлектриков и ферромагнетиков, т.е. кристаллы с нелинейными механическими свойствами.

Сегнетоэластические фазовые переходы обладают рядом общих черт:

- имеется параметр перехода;
- искажение кристаллической решетки и смещения атомов при переходе малы по сравнению с параметрами элементар-

ной ячейки, причем низкосимметричную структуру можно в принципе получить малым искажением структуры исходной высокосимметричной фазы;

- ниже точки перехода возникают сегнетоэластические домены (упругие двойники), решетки которых находятся в определенном ориентационном соответствии друг с другом и с решеткой параэластической фазы;

- под действием внешнего механического напряжения, сопряженного со спонтанной деформацией, сегнетоэластические домены могут переключаться из одного ориентационного состояния в другое, что приводит к нелинейной зависимости ξ от σ ;

- при циклическом изменении σ зависимость $\xi(\sigma)$ имеет вид насыщенной петли механического гистерезиса;

- в окрестности сегнетоэластического фазового перехода наблюдаются аномалии ряда физических свойств кристалла.

Все эти признаки абсолютно аналогичны тем, что были установлены первоначально для ферромагнитных и сегнетоэлектрических фазовых переходов. Но особенности сегнетоэластических, прежде всего реальных (содержащих дефекты), кристаллов изучены менее всего. Усилия исследователей в последние годы направлены на решение главной проблемы в физике сегнетоэластиков: выяснению роли дефектов в формировании основных свойств кристалла и установлению природы взаимодействия дефектов различного типа в кристаллической решетке.

На домены — разделись!

Итак, при температуре выше точки Кюри T_C сегнетоэластик пребывает в параэластической фазе, когда деформация отсутствует. Если же охладить его ниже T_C , причем в механически

* В зарубежной литературе сегнетоэлектрики известны как «ferroelectrics».

свободном состоянии (внешних механических напряжений нет), он переходит в сегнетоэластическую фазу — возникают деформации. При этом кристалл разбивается на сегнетоэластические домены таким образом, чтобы суммарная деформация образца с учетом ее знаков в каждом домене равнялась нулю (рис.2). Домены — это области сегнетоэластика с постоянным значением спонтанной деформации, отличающиеся друг от друга направлением последней. Разбиение кристалла на домены соответствует при этом минимуму упругой энергии кристалла.

Если приложить к кристаллу внешнее механическое напряжение, которое направлено определенным образом, спонтанные деформации, существующие в отдельных доменах, могут быть переориентированы. При достаточно больших значениях напряжения кристалл становится монодоменным, а его суммарная деформация достигает насыщения.

Причины образования доменной структуры сегнетоэластиков на сегодняшний день не совсем ясны. Параллели с сегнетоэлектриками и ферромагнетиками здесь провести не удастся. Дело в том, что в сегнетоэластиках нет аналога дегполяризующего или размагничивающего поля, поэтому нет и энергетического стимула разбиения на домены. В однородном поле механических напряжений равновесным является монодоменное

состояние. Согласно гипотезе, высказанной А.Л.Ройтбурдом, роль дегполяризующего поля в сегнетоэластиках играют неоднородные внутренние напряжения, возникающие в кристалле при переходе через точку Кюри и распространяющиеся на большие расстояния. Эти напряжения становятся существенно меньше, когда кристалл ниже T_c разбивается на домены с различной собственной деформацией. При определенной толщине доменов происходит исчезновение дальнедействующих упругих напряжений, т.е. процесс разбиения на домены оказывается энергетически выгодным.

В прозрачных сегнетоэластических кристаллах доменную структуру можно наблюдать с помощью оптического поляризационного микроскопа благодаря разориентации оптических индикатрис соседних доменов.

Оптическая индикатриса представляет собой геометрическое место точек, которые изображают в условном масштабе величины показателей преломления, отложенные из центра полярной диаграммы для выбранных направлений. Полученная поверхность и будет индикатрисой. Для изотропных сред индикатриса — сфера, а для анизотропных — эллипсоид вращения или более сложная поверхность. Метод наблюдения доменов в поляризованном свете использует то обстоятельство, что разориентация на-

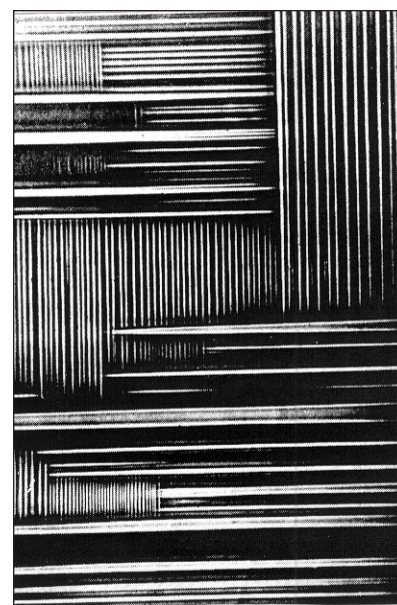


Рис.3. Изображение доменной структуры монокристалла сегнетовой соли в поляризованном свете.

правлений спонтанной деформации в сегнетоэластических доменах всегда сопровождается соответствующей разориентацией их оптических индикатрис. Поэтому при рассмотрении в проходящем свете пластинки кристалла, помещенной между двумя скрещенными поляроидами, одни домены будут светлыми (свет через них проходит), а другие темными, так как положения погасания для соседних доменов не совпадают, т.е. соседние сегнетоэластические домены всегда визуальны различимы (рис.3). Таким образом, оптическая различимость доменов в поляризованном свете — надежный экспериментальный признак сегнетоэластика. И действительно, все известные кристаллы, в которых доменная структура наблюдается в поляризационном микроскопе ($BaTiO_3$, KH_2PO_4 , $Gd_2(MoO_4)_3$, $KH_3(SeO_3)_2$ и др.), — сегнетоэластики. Наоборот, одноосные коллинеарные сегнетоэлектрики, доменную структуру которых нельзя различить этим ме-

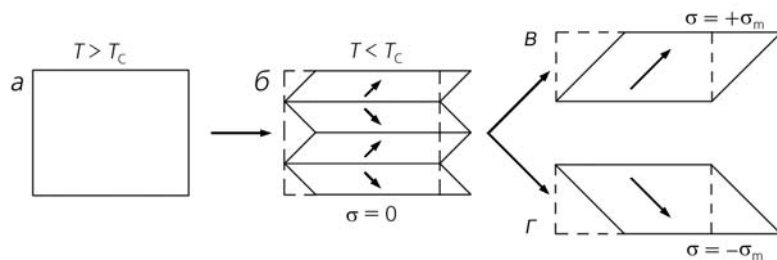


Рис.2. Схематическое изображение возникновения (а, б) и перестройки (б—в, б—г) доменной структуры в сегнетоэластическом кристалле.

тодом (SbSJ, триглицинсульфат), не обладают сегнетоэластическими свойствами.

Геометрия доменов в кристаллах сегнетоэластиков весьма разнообразна. Реальная структура определяется природой и характером распределения дефектов, а также геометрией и предысторией образца. Число различных типов доменов, взаимная ориентация их спонтанной деформации зависят от симметрии кристалла. Так, например, в кристалле чистого сегнетоэластика $Pb_3(PO_4)_2$ наблюдаются три типа доменов, которые могут быть разделены двумя видами доменных границ.

Если сегнетоэластик — смешанный, т.е. является одновременно и сегнетоэлектриком, то границы между сегнетоэластическими доменами оказываются и границами, разделяющими сегнетоэлектрические домены. При этом, если кристалл — одноосный сегнетоэлектрик (такой сегнетоэлектрик, в котором $P_{сн}$ возникает только вдоль одной из осей кристалла, например молибдат гадолиния, сегнетова соль и др.), то сегнетоэластические домены совпадают с сегнетоэлектрическими. Подобные смешанные сегнетоэластики называют полными сегнетоэластиками-сегнетоэлектриками. В случае многоосных сегнетоэлектриков, в которых $P_{сн}$ может равновероятно возникнуть вдоль одной из нескольких осей кристалла (титанат бария, тригидроселенит натрия и пр.),

внутри каждого сегнетоэластического домена может существовать уже чисто сегнетоэлектрическая доменная субструктура. Такие смешанные сегнетоэластики называют неполными сегнетоэластиками-сегнетоэлектриками. Соседние сегнетоэластические домены оптически различимы в поляризованном свете, а сегнетоэлектрическая субструктура — нет. Подчеркнем, что все многоосные сегнетоэлектрики непременно являются сегнетоэластиками.

Непостоянство доменов

Домены могут переключаться из одного ориентационного состояния в другое под действием механических напряжений определенной величины и направления. В поле внешних напряжений они становятся энергетически неэквивалентными, и более благоприятно ориентированные относительно этого поля растут за счет энергетически менее выгодных. Устанавливается новая доменная структура, соответствующая данному значению внешнего напряжения; при некотором его значении кристалл вообще переходит в монодоменное состояние: доменные границы исчезают и весь кристалл представляет собой один домен. Перестройка доменной структуры лежит в основе изменения макроскопической деформации сегнетоэлас-

тиков под действием механических напряжений. Кинетика доменных границ определяется их подвижностью в реальном кристалле, а также процессами зарождения новых доменов. Процесс переключения может происходить, например, путем зарождения тонких клиновидных или линзообразных доменов с последующим их ростом и движением регулярных плоских или зигзагообразных доменных границ.

Взаимодействие доменных границ с периодическим полем кристаллической решетки, с дефектами и неоднородностями кристалла или с другими доменными границами приводит к «трению», возникающему при их перемещении. Из-за него трансформация доменной структуры при циклическом изменении внешних напряжений становится необратимой: суммарная деформация при увеличении напряжения, при его уменьшении и изменении знака ведет себя по-разному. Другой причиной сегнетоэластического гистерезиса является задержка образования и роста зародышей переключаемых областей из-за влияния дефектов. С одной стороны, дефекты кристаллической решетки облегчают процесс образования зародышей и тем самым способствуют переключению образца, а с другой — препятствуют смещению доменных границ и тем самым его затрудняют. Как уже говорилось, зависимость деформации ξ от величины механического напряжения σ не линейна и имеет вид петли гистерезиса (рис.4). Ее форма $\xi(\sigma)$ зависит от многих факторов: температуры, частоты и амплитуды внешнего поля, количества примесей и дефектов кристаллической решетки в материале и др. [2].

По петле гистерезиса можно определить величину спонтанной деформации $\xi_{сн}$ (продолжая участок насыщения петли гистерезиса до пересечения с осью ξ , как показано на левой кривой (рис.4) и коэффциентного напря-

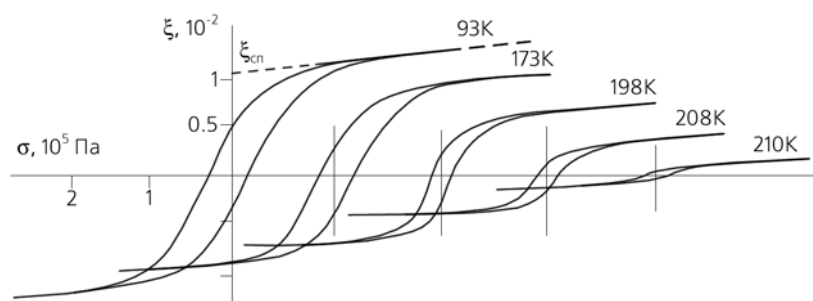


Рис.4. Температурная эволюция петель сегнетоэластического гистерезиса при приближении к точке Кюри ($T_c = 211$ K) кристалла $KN_3(SeO_3)_2$.

жения σ_k . Последнее соответствует переключению доменов и переходу кристалла в монодоменное состояние, сопровождающемуся сменой знака $\xi_{сн}$. Для сегнетоэластиков характерны большие величины $\xi_{сн} = 10^{-3} - 10^{-1}$.

Что же касается σ_k , то их значения варьируются в пределах от 10^5 Па для так называемых эластомягких кристаллов с узкой петлей гистерезиса до 10^8 Па для эластожестких кристаллов, характеризующихся широкой петлей гистерезиса.

Магическая температура

Температура — ключевая для фазовых переходов величина. При изменении температуры и ее приближении к точке Кюри форма петли гистерезиса изменяется (рис.4). Хорошо видно, как при нагревании сегнетоэластика спонтанная деформация $\xi_{сн}$ уменьшается по величине и стремится к нулю при $T \rightarrow T_c$. Величина $\xi_{сн}$ сильнее всего зависит от температуры в области фазового перехода, а в самой точке перехода исчезает либо скачком (фазовый переход 1-го рода, например, в BaTiO_3), либо непрерывно (фазовый переход 2-го рода, например, в тригидроселените калия). В последнем случае температурная зависимость $\xi_{сн}$ ниже T_c определяется выражением:

$$\xi_{сн} = \sqrt{\frac{\alpha_0(T_c - T)}{\beta}}, \quad (3)$$

где α_0 и β — постоянные коэффициенты, T_c — температура Кюри.

Как выяснилось [2], специально введенные в кристалл $\text{KN}_3(\text{SeO}_3)_2$ точечные дефекты (ионы Cr^{3+}) сильно влияют на форму петлю механического гистерезиса и ее изменение при нагревании. Так, петли, полученные на номинально чистых образцах, симметричны относительно осей напряжений и деформаций (рис.4), а при-

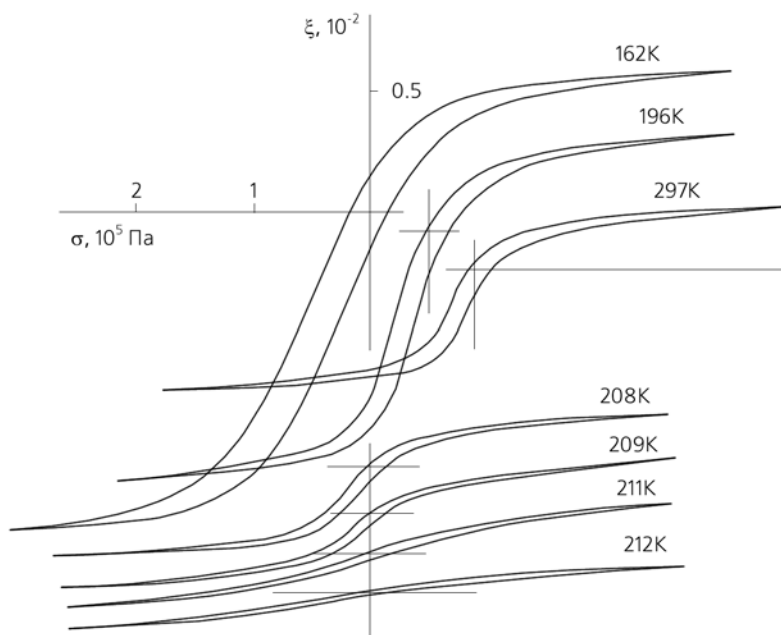


Рис.5. Петли сегнетоэластического гистерезиса для кристалла $\text{KN}_3(\text{SeO}_3)_2$, легированного хромом, при разных температурах.

мель приводит к их смещению относительно этих осей (рис.5). Асимметрия петель, полученных на образцах с введенными дефектами, уменьшается по мере приближения к T_c . Причиной асимметрии петель оказывается порожденное примесями дефектами внутреннее ориентированное относительно осей внутреннего поля. При этом создается так называемое «унидеформационное» состояние, аналогичное униполярному состоянию в сегнетоэлектриках с дефектами.

Располагая экспериментальными кривыми сегнетоэластического гистерезиса, можно построить температурные зависимости квадрата спонтанной деформации $\xi_{сн}^2(T)$, которые, согласно формуле (3), должны быть прямыми линиями, проходящими через T_c (рис.6). При наличии дефектов, однако, налицо отклонения: для кристалла с ионами Cr^{3+} прямая $\xi_{сн}^2(T)$ сдвигается, и, кроме того,

вблизи $T_c = 211$ К возникает излом, зависимость $\xi_{сн}^2(T)$ искривляется. Это свидетельствует о том, что в кристалле с фазовым переходом 2-го рода появляются черты фазового перехода 1-го рода, вызванные влиянием дефектов.

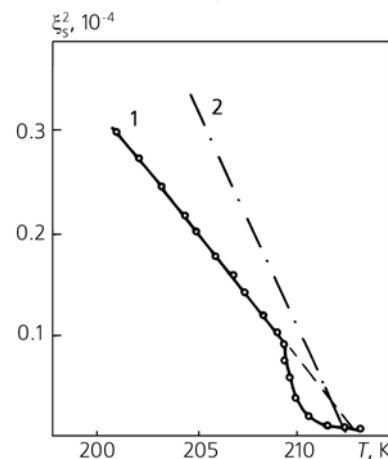


Рис.6. Температурные зависимости $\xi_{сн}^2(T)$: 1 — по данным рис.5; 2 — для номинально чистого кристалла.

Сильная температурная зависимость выше и ниже T_c наблюдается также у упругой податливости s и других констант сегнетоэластика. Так, с приближением к точке Кюри s резко возрастает. В большинстве сегнетоэластиков зависимость упругой податливости от температуры при $T > T_c$ подчиняется закону Кюри—Вейсса:

$$s = s_{\infty} + \frac{C_w}{T - T_c}, \quad (4)$$

где s_{∞} — неаномальная часть упругой податливости вдали от T_c , C_w — константа Кюри—Вейсса. Чтобы проверить, выполняется ли закон Кюри—Вейсса, обычно строят зависимость обратной податливости $1/(s - s_{\infty})$ от $(T - T_c)$ — согласно (4), она должна представлять собой прямую линию.

Сильное изменение деформации образца под действием механических напряжений за счет смещения доменных границ обуславливает большую величину упругой податливости s полидоменного сегнетоэластика. Значение s тем больше, чем слабее «закреплены» доменные границы на дефектах и на поверхности кристалла.

Сегнетоэластические выкрутасы

Поскольку в сегнетоэластиках в результате фазового перехода спонтанно возникает одна или несколько компонент тензора упругой деформации, пространственное изменение такого параметра порождает дальнедействующие упругие силы. Из-за

разбиения на домены и наличия в реальных кристаллах различных дефектов деформация в низкосимметричной фазе распределена неоднородно, и это может приводить к неожиданным механическим эффектам. В частности, было обнаружено [3—5], что образцы сегнетоэластических кристаллов самопроизвольно закручиваются при изменении температуры в окрестности T_c (без всяких внешних механических напряжений). Такое закручивание имеет место только в сегнетоэластической фазе и не наблюдается в фазе параэлектрической, т.е. оно связано с особенностями сегнетоэластического состояния. Кроме того, закручиваются лишь образцы «активной» кристаллографической ориентации, в которых механическое напряжение сопряжено со спонтанной деформацией и вызывает движение доменных границ. Очевидно, что обнаруженный эффект связан с наличием двойниковой структуры, ее состоянием и является своеобразным эффектом памяти формы [6]: образец, спонтанно закрутившийся на некоторый угол при охлаждении ниже T_c , начинает раскручиваться при последующем нагревании, а выше T_c принимает свою прежнюю форму.

Впервые эффект закручивания наблюдался в чистых собственных сегнетоэластиках $\text{KN}_3(\text{SeO}_3)_2$ и $\text{KD}_3(\text{SeO}_3)_2$ [2]. Позже он был обнаружен и в других сегнетоэластических кристаллах, например в $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ [3], Hg_2Cl_2 [4] и др. Во всех этих кристаллах в результате фазового перехода спонтанно возникает та или иная сдвиговая компонента тензора деформации. Экспериментально установлено [2—5], что величина угла спонтанного закручивания образца зависит от состояния доменной структуры, которое можно изменить высокотемпературным отжигом, введением дефектов или внешним статическим механическим напряжением (рис.7). По-видимому, обнаруженный эффект нельзя объяс-

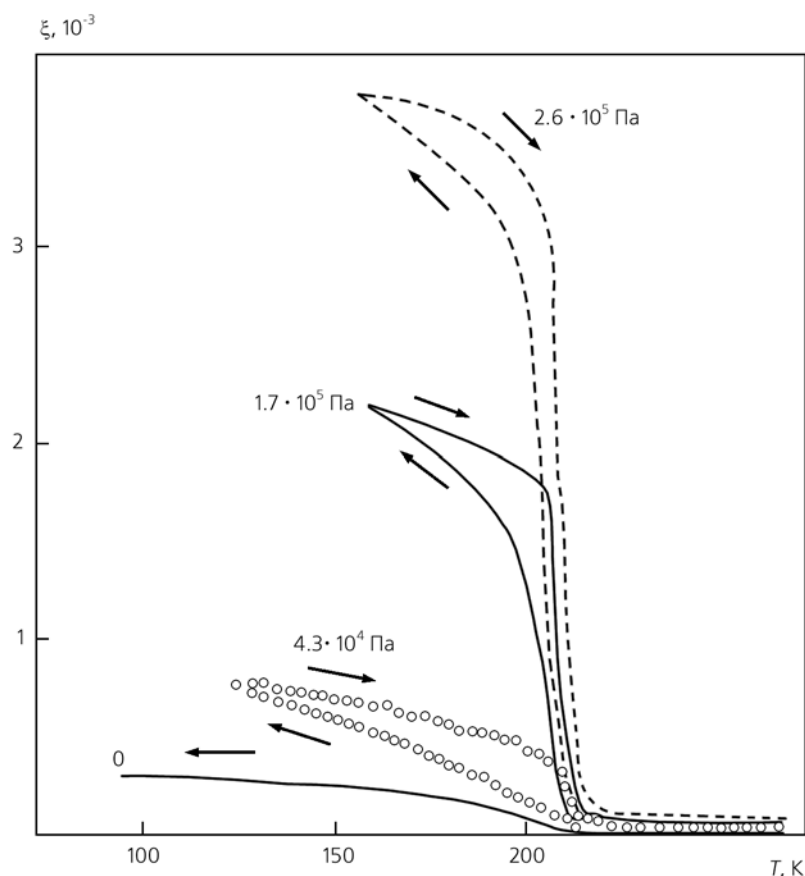


Рис.7. Температурные зависимости спонтанной крутильной деформации кристалла $\text{KN}_3(\text{SeO}_3)_2$ при различном внешнем статическом напряжении.

нить только изменением симметрии при фазовом переходе, так как возникает он лишь в случае, когда отсутствует баланс между доменами с разным знаком спонтанной деформации (из-за неоднородного распределения дефектов в кристаллической решетке).

Если сдвиговую деформацию доменов, возникающую в сегнетоэластической фазе, представить как результат образования в объеме домена непрерывно распределенных замкнутых дислокационных петель [7], угол ϕ спонтанного закручивания образца будет прямо пропорциональным спонтанной деформации и разности площадей доменов с ξ_{sp} разного знака. Именно последняя величина окажется решающей: образец не будет закручиваться при изменении температуры в том случае, когда количество доменов одного и другого знака одинаково. Если внешним статическим напряжением $\sigma_{ст}$ изменить это соотношение, то деформация кручения ξ , пропорциональная углу ϕ , будет увеличиваться с ростом $\sigma_{ст}$, что наблюдается в эксперименте (рис.7).

То, что в эксперименте образцы закручиваются лишь в одну из сторон, можно объяснить как результат самосогласованного зарождения новых доменов в поле упругих напряжений

доменов, уже существующих. Если в кристалле есть явно выраженная неоднородность (дефект), то в этой локальной области образуется небольшой домен (зародыш). Появление этого домена-лидера вызывает незначительное закручивание кристалла в одну из сторон. В поле упругих напряжений такого слегка закрученного кристалла облегчается зарождение новых доменов, компенсирующих упругое поле, но приводящих к дополнительному закручиванию кристалла в ту же сторону. Так как процесс этот носит самосогласованный характер, то при охлаждении кристалла закручивание происходит только в одну сторону.

* * *

Напоследок хочется еще раз обратить внимание читателя на важность исследования наиболее широкого класса диэлектрических кристаллов — сегнетоэластиков — как для науки, так и для различных областей техники.

Во-первых, в физике твердого тела появился новый раздел — физика сегнетоэластических кристаллов, т.е. кристаллов с нелинейными механическими свойствами, обусловленными возникновением спонтанной деформации при фазовом переходе, разбиением кристалла на сег-

нетоэластические домены и динамикой доменных границ. Кроме чистых собственных сегнетоэластиков этот класс включает в себя также многочисленные кристаллы, обладающие помимо сегнетоэластических еще и сегнетоэлектрическими, суперионными свойствами, кристаллы с несоизмеримыми фазами, высокотемпературные сверхпроводники, фуллерены и др. Во-вторых, общность сегнетоэластических фазовых переходов с другими ферроическими позволяет использовать один и тот же прием анализа различных типов фазовых переходов.

Что касается приложений, то здесь подводить итоги пока рано: всю потенциальную сферу применений в настоящее время трудно себе представить. По-видимому, сейчас наибольшие перспективы связаны с использованием сегнетоэластиков в управляемых акустоэлектронных устройствах обработки сигналов, а также с созданием принципиально новых типов устройств [8]. Для этого необходимы поиск и исследование новых сегнетоэластических кристаллов и совершенствование технологии их получения. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 98-02-16055.

Литература

1. Шувалов Л.А. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1979. Т.43. №8. С.1554—1560.
2. Гриднев С.А., Шувалов Л.А., Кудряш В.И. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1983. Т.47. №3. С.497—499.
3. Гриднев С.А., Бирюков А.В., Иванов О.Н. // ФТТ. 1999. Т.41. №10. С.1848—1850.
4. Binder A., Knorr K., Markov Yu.F. // Phys. Rev. B. 2000. V.61. №1. P.190—196.
5. Гриднев С.А., Иванов О.Н., Михайлова Л.П., Давыдова Т.Н. // ФТТ. 2001. Т.43. №4. С.693—696.
6. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л., 1987.
7. Современная кристаллография. Т.4. Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С. и др. Физические свойства кристаллов. М., 1981. С.84—110.
8. Алексеев А.Н., Злоказов М.В., Оситов И.В. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1983. Т.47. №3. С.465—475.

Кто дирижирует ансамблем певчих птиц?

В.В.Иваницкий

Пение птиц жизнеутверждающей темой вплетается в вечную симфонию природы и служит неиссякаемым источником вдохновения для творцов, воплощающих красоту и гармонию окружающего мира в музыкальных и поэтических произведениях. Для ученых-орнитологов уже больше полувека вокальное поведение птиц — поистине необозримое по масштабам и непревзойденное по привлекательности поле для исследований. Звучание птичьего хора бросает настоящий вызов специалистам, изучающим механизмы коммуникации птиц. Однако до сих пор многое остается непознанным. Насколько заполнен эфир голосами птиц? Какова мера согласованности в пении пернатых вокалистов, выступающих на общей «сцене»? Подстраиваются ли певцы друг под друга, или у каждого из них своя собственная программа? Обращают ли птицы внимание на пение других видов, насколько широко распространены межвидовые акустические взаимодействия, влияют ли они на ритмический рисунок вокализации и пространственную структуру многовидовых поселений?

Приступая к полевым исследованиям, мы сосредоточились



Владимир Викторович Иваницкий — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры зоологии позвоночных животных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Специалист в области социальной организации и коммуникации животных.

на изучении луговых птиц. В лесу настолько много пернатых певцов, что весной здесь стоит настоящий гул, в котором трудно что-либо разобрать. Но и заливной луг у реки погожим майским утром звенит птичьими голосами, как музыкальная шка тулка. В гущине ивняков азартно щебечут камышевки и славки. Рассевшись на вершинах приземистых ив, пересвистываются чечевицы и овсянки, а там, где кусты поднимаются повыше, вторят им зяблики и пеночки-веснички. Целиком оправдыва-

ют свое энтомологическое прозвище невидимки-сверчки, о присутствии которых только и можно судить по их странным песням, напоминающим жужжание крошечного электрического моторчика. Их негромкие вокализы бывает непросто услышать на фоне ошеломляющей мощи и разнообразия соловьиных трелей. Внимая день за днем этому разноязычному хору, мы надеялись достигнуть в конце концов понимания основных законов, управляющих поведением его участников.

Что же такое птичья песня?

Для физика песня птицы, как и любой звук, представляет собой всего лишь колебания воздуха, распространяющиеся с определенной частотой и амплитудой. По теории информации, это — широкополосный сигнал, адресованный всем, кто находится в зоне слышимости. С точки зрения биолога песня — это самореклама самцов, удерживающих гнездовые территории и готовых вступить в брак. Песня информирует о видовой принадлежности исполнителя, привлекает к нему самок, а также предупреждает других самцов о том, что данная территория занята, а ее хозяин готов защищать свои владения самым решительным образом. Наиболее самозабвенно поют холостые самцы, сразу же после образования пары желание петь у них резко снижается, а то и пропадает вовсе.

Частотные диапазоны песен у разных видов птиц, как правило, широко перекрываются, иначе говоря, они используют для распространения информации один и тот же канал связи. Между тем, как известно, совместное использование многочисленными субъектами одного канала связи способно породить конфликт между ними за время пользования эфиром. Размышляя об этом, британский орнитолог Мартин Коуди высказал гипотезу о возможности конкуренции за время в эфире у животных с высоким уровнем акустической коммуникации, к числу которых принадлежат и певчие птицы. Суть этой гипотезы в том, что живущие по соседству птицы по возможности избегают петь одновременно, чтобы не мешать друг другу. По мнению автора, подобные взаимоотношения особенно оправданы среди птиц разных видов, ведь певцов одного вида разделяют территориальные рубежи, и они поют поодаль друг от друга, при этом, как правило, отчет-

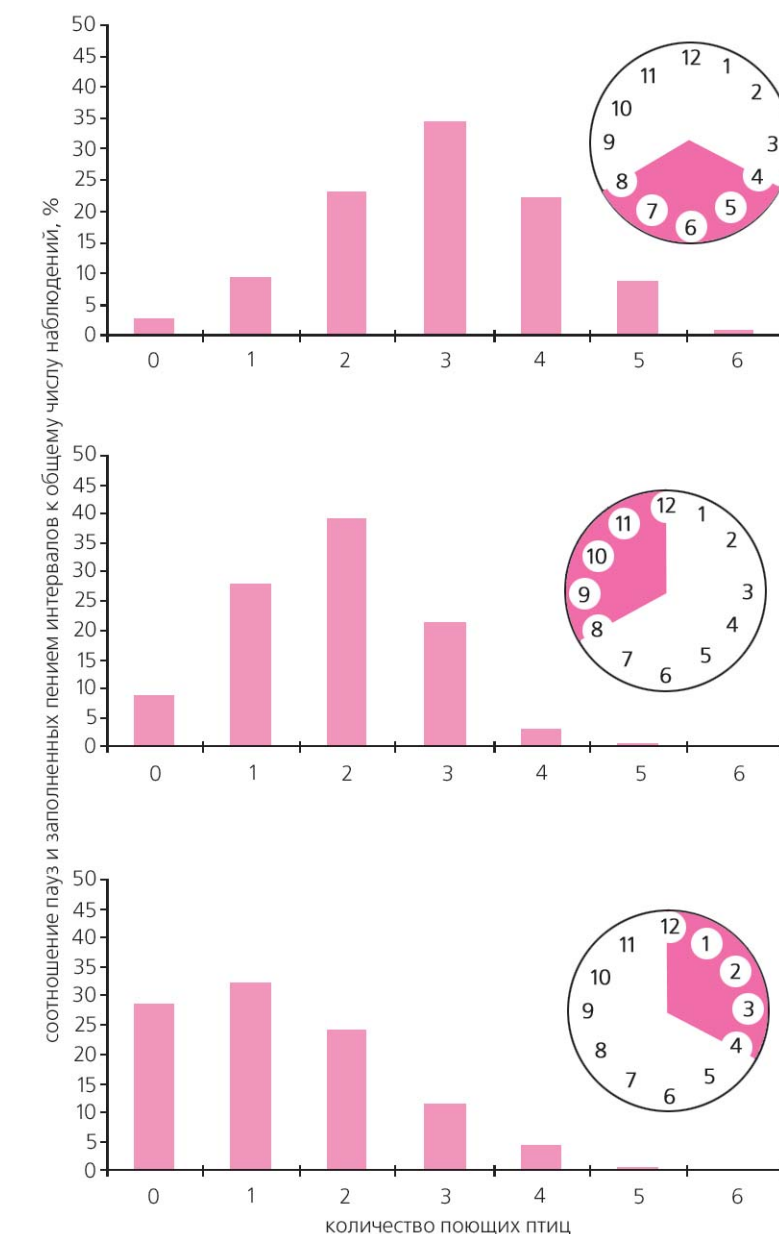


Рис. 1. Насыщенность эфира пением птиц в разное время дня: 4–8 ч, 8–12 ч, 12–16 ч. В целом количество пауз в дневные часы, когда птицы не поют вовсе, очень мало. Ранним утром птичьи голоса звучат почти непрерывно — доля интервалов молчания составляет всего 2,5%, в послеполуденные же часы, когда вокальная активность падает, паузы занимают более четверти всего времени наблюдения.

ливо слышат соседей за несколько десятков и даже сотен метров. А территории самцов разных видов могут перекрываться, и им ничто не мешает петь хоть на одном дереве.

Подмечено, что выступления одной птицы нередко провоци-

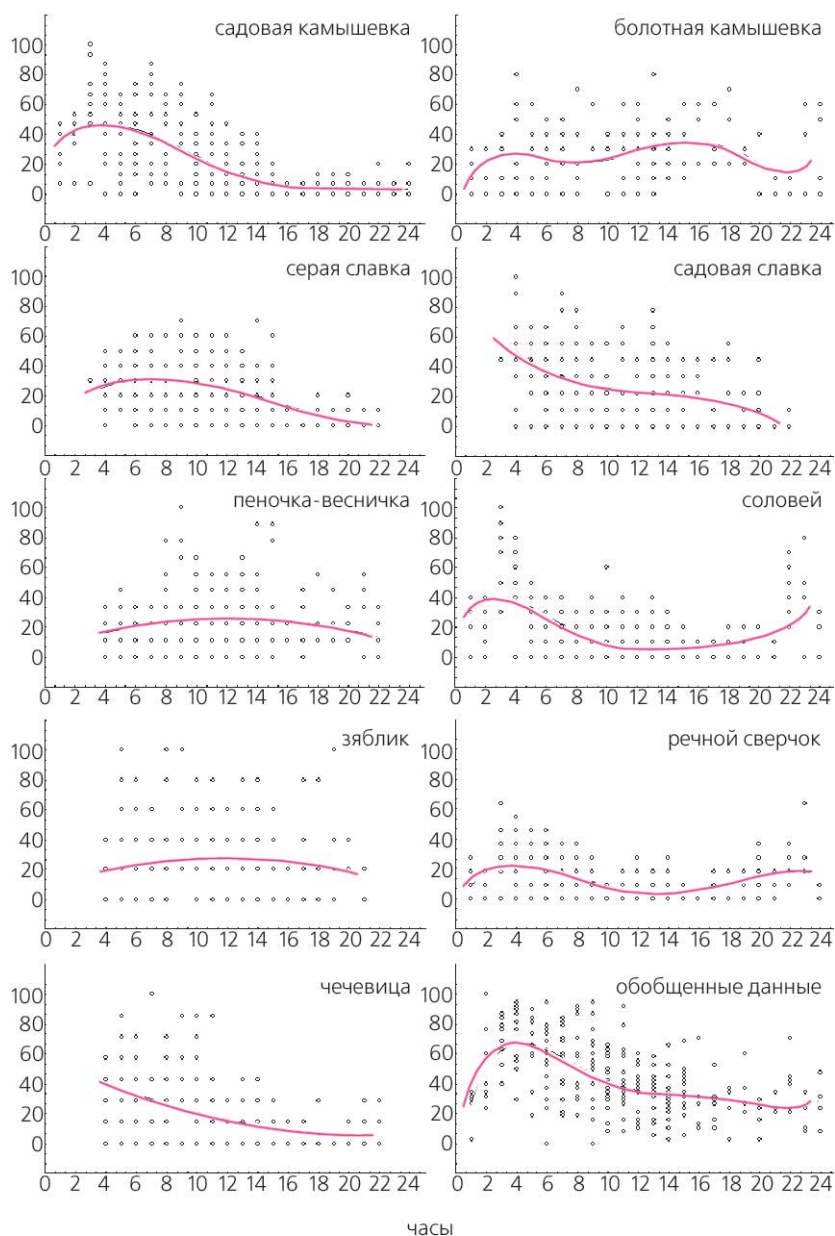
руют к пению других, которые в иной ситуации промолчали бы или запели чуть позже. В этологии подобный феномен, касающийся и многих других форм поведения животных, известен под названием «социальная стимуляция». Знаменитый в про-

Рис.2. Суточные (слева) и сезонные ритмы пения птиц. По оси ординат отложено процентное соотношение числа поющих самцов, зарегистрированных во время одного наблюдения, к общему количеству особей, обитающих на исследуемой территории

шлом ленинградский орнитолог, превосходный знаток акустического поведения птиц Александр Мальчевский назвал его звуковой индукцией. Интересно, что запустить коллективное пение птиц, доколе хранивших молчание, может, подобно взмаху дирижерской палочки, любой громкий звук, например раскат грома или шум проезжающего автомобиля. Таким образом, наши предшественники уже наметили по меньшей мере два типа взаимной координации вокального поведения птиц — конкуренцию за эфир и звуковую индукцию, нам же было особенно интересно отыскать конкретные проявления такого поведения птиц, относящихся к разным видам.

Много ли поют птицы?

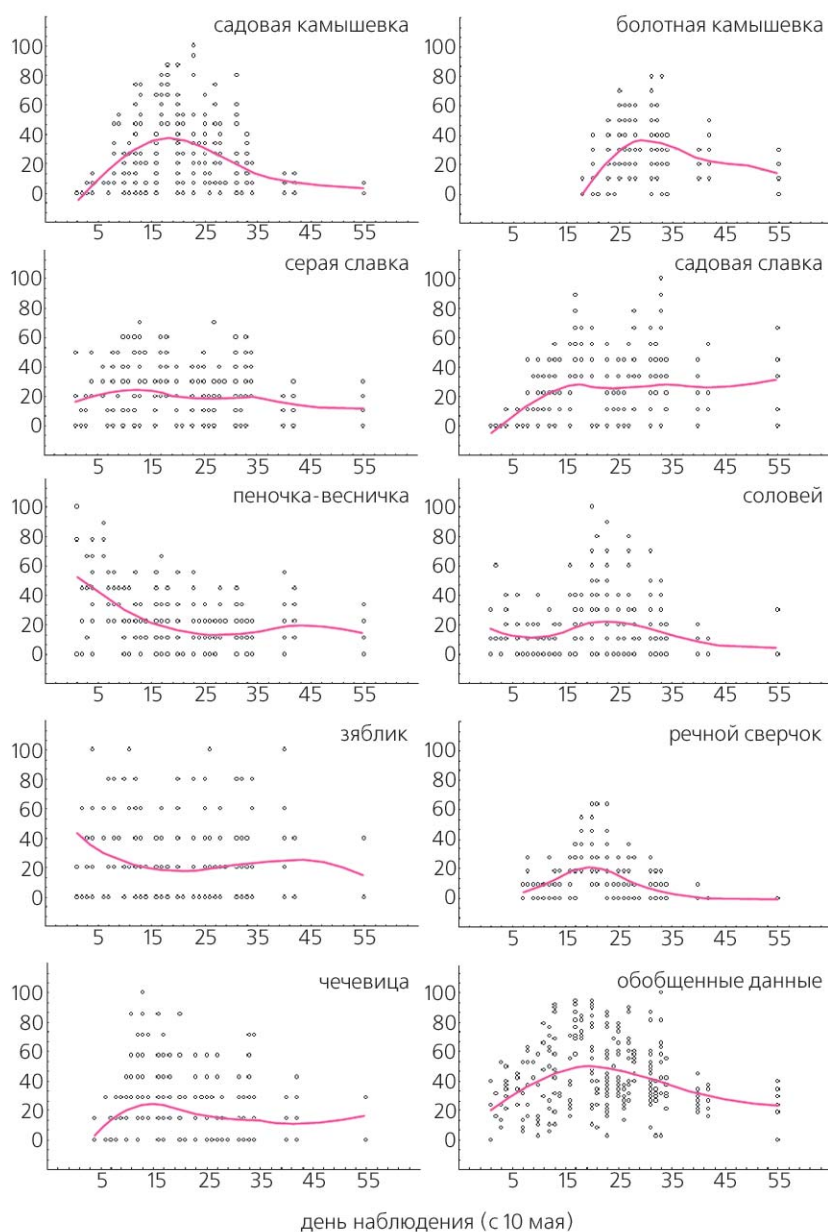
Как известно, пернатые вокалисты обладают различными манерами выступлений. Пение зяблика, веснички, чечевицы или серой славки можно назвать пунктирным: это череда коротких стереотипных фраз, разделенных явственно выраженными паузами. Каждая фраза — законченное музыкальное произведение, которое звучит 2–3 с. Продолжительность пауз обычно бывает не менее 8–10 с. Таким образом, за минуту певец исполняет до 6–8 совершенно одинаковых песен-фраз. А вот камышевки, славки, соловьи и сверчки поют непрерывно. Отдельных песен у них не бывает, их пение — сплошной поток разнообразных звуков, сменяю-



щих друг друга самым неожиданным образом. Своеобразное устройство голосового аппарата позволяет птицам не прерывать пения свыше получаса и более.

Чтобы исследовать степень заполнения эфира птичьим пением, мы, не сходя с места в течение нескольких часов, подсчитывали число поющих птиц, отмечая интервалы по 15 с (рис.1). Хотя четверть минуты — время не слишком большое, его вполне хватает для вы-

ступления пяти-шести разных птиц. Но чаще удается услышать лишь двух-трех исполнителей. Интервалов в этом многоголосье в утренние часы почти нет, и только ближе к полудню их доля заметно возрастает. По расчетам, чистое время звучания песен занимает около 30% всего эфирного времени. Но это при условии, что все исполнители привержены пунктирной манере пения с относительно длинными паузами. В действительности же камы-



шевки, славки и соловьи, поющие непрерывно, заполняют эфир еще плотнее. По существу любой 15-секундный интервал, включающий в себя пение этих птиц, можно считать заполненным на 100%. С учетом этого, общую степень заполнения эфира пением луговых птиц ранним утром можно оценить примерно в 85%.

О том, как много поют птицы и насколько плотно заполняют они эфирное время, можно судить по нашим наблюдениям за

двумя исполнителями — холостыми самцами болотной и садовой камышевок, выступавшими поблизости друг от друга, но вне слышимости других птиц. За день в три приема зарегистрировано 789 песен, каждая из которых длилась четверть минуты. При этом 355 раз самцы пели дуэтом, 51 раз солировала болотная камышевка и 276 раз — садовая, в 107 случаях самцы обоих видов молчали. На следующий день получено 345 регистраций: 130 раз птицы

пели вместе, четыре раза пела только болотная камышевка, 211 раз солировала садовая, при этом пауз не было вовсе. Полностью эфирное время заполняли самцы на протяжении полутора часов, выступая вместе и порознь.

На исходе весны и в начале лета, когда ночи становятся все короче, птичий концерт идет почти круглосуточно. Нечто напоминающее антракт бывает лишь с 23 до 1 ч, затем, еще задолго до восхода солнца, одновременно запевают соловьи, сверчки и камышевки, к которым примерно через полтора часа, уже на рассвете, присоединяются славки, чечевичи, пеночки, а еще через полчаса — зяблики. Другой период минимальной активности птиц тянется с 17 до 19 ч, после чего, на вечерней заре, на фоне стрекота сверчков запевают соловьи, активность которых достигает пика к 22 ч и быстро угасает по мере того, как сгущаются сумерки.

Как птицы делят эфирное время?

Известно, что бесконфликтное сосуществование разных видов животных в природных сообществах возможно лишь при отсутствии между ними конкуренции за пищу. Каждый вид занимает особую экологическую нишу, т.е. нуждается в пище лишь определенного рода или же добывает ее в особых, только ему присущих местах. Если певчие птицы действительно конкурируют за время в эфире, можно ожидать, что разные виды будут использовать разные акустические интервалы в зависимости от того, какую часть времени суток или всего сезона гнездования они уделяют наиболее интенсивному пению.

Чтобы исследовать этот вопрос, мы проложили на лугу маршрут длиной в 1 км и принялись разгуливать по нему из конца в конец, днем и ночью,



Чечевица.

Фото В.В.Забугина



Садовая славка.

Фото Е.Н.Панова

на протяжении всего сезона гнездования, подсчитывая поющих самцов всех видов. В результате подсчетов были получены кривые линии, которые представляют собой математические модели суточных и сезонных ритмов пения, подобранные с помощью регрессионного анализа (рис.2). Каждая точка кривой соответствует наиболее вероятному числу поющих птиц в определенное время суток или в определенный день гнездового сезона. Наиболее примечательным оказалось высокое разнообразие видовых суточных профилей. Наиболее заметны различия в суточных и сезонных ритмах пения у садовых и болотных камышевок.

С помощью статистических методов — факторного и кластерного анализа — данные учетов были сведены в единую многомерную картину. В результате мы обнаружили широкий размах видовых различий в сезонных и суточных ритмах пения. В некотором смысле в этом можно видеть эффективное средство уменьшения акустической конкуренции. Но все же сами по себе эти различия нельзя рассматривать как строгое доказательство ее наличия. Приходится признать, что различия в расписании пения сосуществующих видов, подобно всем прочим различиям между ними, могли сложиться вследствие их независимой эволюционной дивергенции.

Реагируют ли птицы на чужие песни?

Информация, содержащаяся в песнях, предназначена прежде всего для сородичей. Может ли она заинтересовать особей других видов? Для того чтобы выяснить это, мы провели эксперимент, транслируя фонограммы пения одних птиц на гнездовых участках других. В роли «подопытного кролика» выступал самец, владевший территорией, на которой через динамики-

усилители транслировались сигналы. Услышав чужое пение на своем участке, его законный владелец спешит отыскать нарушителя и выдворить его вон. Поведение самца по отношению к воображаемому сопернику мы оценивали по разным признакам: латентный период его реакции (отрезок времени от начала трансляции до появления первых очевидных признаков возбуждения), дистанция до источника звука, наличие прямой агрессии (некоторые самцы даже клюют динамики), подвижность в процессе трансляции, продолжительность пения или паузы после окончания трансляции, наличие специфических демонстративных движений и поз.

Для исследования были выбраны болотная и садовая камышевки — многочисленные обитатели заливного луга. Эти мелкие птички живут бок о бок в густых кустах и высокотравье. Внешне они столь похожи друг на друга, что без многолетнего опыта отличить их в природе невозможно, зато легко распознать по песням. Садовая камышевка четко «выговаривает» слоги, соблюдает паузы, манера ее пения напоминает соловьиную. Ее песня мелодична, богато орнаментирована приятными на слух свистовыми звуками, а своеобразное пощелкивание расставляет акценты и разделяет вокальные фразы. Болотная камышевка, напротив, тараторит с невероятной скоростью, не заботясь ни о паузах, ни об акцентах. Пение ее звучит как безостановочный, торопливый и трескучий щелбет.

Как правило, самцы реагировали на чужую песню менее ярко, чем на родную, однако садовые камышевки вели себя активнее болотных. Ранее аналогичные опыты проводил британский орнитолог Клайв Кэтчпол. Он установил, что в области совместного обитания тростниковых и болотных камышевок чужая песня интересовала только первых. В другом же месте, где соседями тростниковых ка-



Пеночка.

Фото Е.Н.Панова

мышевок были камышевки-барсучки, инициативу проявляли лишь последние. Примечательно, что во всех упомянутых случаях активную позицию по отношению к чужой песне занимали особи более агрессивного вида, которые раньше прилетают на места гнездования и занимают доминирующее положение в межвидовой социальной иерархии. Похоже, фундаментальный закон асимметрии, свойственный многим проявлениям межвидовых поведенческих отношений, действует так-

же и в сфере вокальных взаимоотношений разных видов.

Влияют ли акустические отношения на размещение в пространстве птиц разных видов?

Напомним, песней, помимо всего прочего, самец оповещает соседей — особей своего вида — о границах занятой территории. Интересно, а выполняет ли



Зяблик.

Фото В.В.Забугина

эту функцию песня также и в случае межвидовых отношений? Как обстоит дело, например, у тех же камышевок?

Традиционно для изучения пространственной структуры поселений птиц им надевают цветные пластмассовые кольца на лапки и затем наблюдают за их перемещениями на предварительно размеченной площадке. Выяснилось, что самцы-соседи одного вида поют только на своем участке (их «рекламируемые территории» практически не перекрываются), тогда как молча подкормиться, прогуляться или просто отдохнуть они могут и во владениях соседа. А вот террито-

рии, принадлежащие самцам разных видов, обычно перекрываются. Свидетельство ли это того, что их владельцы просто не обращают друг на друга внимания? Чтобы прояснить ситуацию, мы обратились к изучению дуэтов. Заслышав двух поющих поблизости самцов, мы засекали время их совместного выступления, а затем измеряли разделявшее их расстояние. Так, самцы садовой камышевки обычно поют дальше друг от друга, чем самцы болотной. Причина в том, что самцы болотной камышевки часто перемещаются и обычно патрулируют зоны, примыкающие к соседним территориям. Самцы

то и дело встречаются на границах и вступают в акустические дуэлы, словно стараются «перепеть» соперника. Самцы садовой камышевки, напротив, подолгу поют на одном месте, как правило в центре территории. Целенаправленное патрулирование границ, а также приграничные акустические дуэлы для них не характерны.

Самцы разных видов избегают петь ближе 10 м друг от друга. Это довольно большая дистанция, если учесть, что камышевки занимают небольшую территорию — протяженностью всего 30—40 м. Кроме того, выяснилось, что самцы болотной камышевки, похоже, ощущают некоторое неудобство от близкого присутствия поющих самцов садовой камышевки. Во всяком случае, во время совместного выступления продолжительность пения «болотных» самцов обычно убывает пропорционально разделяющей певцов дистанции, тогда как «садовые» самцы в любой ситуации поют столько, сколько им заблагорассудится. В этом легко усмотреть очевидное соответствие с данными экспериментов, при которых использовалась трансляция. Социальное доминирование садовых камышевок над болотными простирается и в сферу акустических взаимоотношений этих видов. Складывается впечатление, что «садовые» самцы выбирают место и время для пения без всякой оглядки на «болотных», тогда как последние предпочитают петь поодаль от конкурентов, а случись тем оказаться поблизости — стремятся закончить выступление как можно быстрее.

Существует ли координация в хоровом пении птиц разных видов?

Исследования хорового пения птиц проводят обычно методом длительной синхронной регистрации акустической активности разных исполнителей,

слышимых из одной точки. Во время регистрации, которая может длиться несколько часов, на каждом из равных интервалов времени, сменяющих друг друга, отмечают число спетых песен или же просто присутствие или отсутствие вокализации особей, находящихся в зоне слышимости. Применяют преимущественно короткие интервалы — от 15 с до 1 мин. В результате получают длинные индивидуальные ряды, характеризующие поминутно (или еще более дробно) акустическую активность отдельных особей за все время наблюдений. Понятно, что птичий хор составляют несколько исполнителей, поэтому необходимо получить обобщенный показатель вокальной активности хора. Одним из них может служить итоговый ряд, получаемый в результате суммирования по интервалам значений всех индивидуальных рядов. Важно было понять, складывается этот ряд случайно, или же в нем присутствуют элементы упорядоченности, что может быть вызвано воздействием внешних или внутренних факторов.

Выяснилось, что итоговые ряды отражают общее снижение активности пения птиц на протяжении нескольких часов наблюдений, что само по себе не удивительно, так как эти выводы совпадают с уже известными нам результатами исследования ритмов пения. Динамику акустической активности хора во времени можно изобразить и более наглядно, если перейти от исходного итогового ряда к более обобщенному, сглаженному, построенному путем усреднения нескольких соседних значений по всему ряду.

В этом случае все выглядит менее хаотично — явно проследимы элементы краткосрочной цикличности: интенсивность пения птиц на определенном отрезке времени зависит от одного или нескольких предыдущих значений. Таким образом, полученные итоговые



Соловей поющий и «в антракте».

Фото В.В.Забугина



Серая славка.

Фото Е.Н.Панова



Садовая камышевка.

Фото Е.Н.Панова

временные ряды, отражающие суммарную акустическую активность нескольких особей разных видов певчих птиц, не представляют собой хаотический процесс в чистом виде. Акустические ряды обладают внутренней структурой, обусловленной прежде всего присутствием цикличности разной периодичности.

Кто же дирижирует ансамблем пернатых?

В поисках ответа на этот вопрос полезно обратиться к опыту настоящих музыкальных коллективов. В 30-х годах в Ленинграде были популярны концерты Персимфанса (Первого симфонического ансамбля). Это был симфонический оркестр полного состава, исполнявший сложные музыкальные произведения без дирижера. Выходя на сцену, музыканты расслаживались в круг так, чтобы каждый мог видеть всех. Во время игры они следили не за дирижером, а друг за другом. На репетициях каждый из них научился соразмерять свое поведение с поведением своих коллег, и в конце концов ансамбль превратился в самоорганизующуюся систему, которая не нуждалась во внешнем управлении. Но этот опыт не привился...

В какой же мере процессы самоорганизации могут быть присущи и ансамблям певчих птиц? Наш коллега Василий Грабовский на компьютерной модели, устроенной в виде поля, разбитого на множество клеточек, продемонстрировал, что таинство самоорганизации в некоем коллективе субъектов, например в сообществе птиц, протекает при трех условиях. Прежде всего, все субъекты должны уметь делать одно дело, например петь. Затем необходимо, чтобы у каждого охота к пению время от времени сменялась бы потребностью в отдыхе. Наконец, требуется, чтобы продолжительность пения и отдыха каждой

птицы находилась бы в зависимости от поведения соседей. Работая модель «являет взору картины», при взгляде на которые орнитологу-полевику трудно оставаться равнодушным даже вопреки тому, что в роли птиц на экране выступают всего лишь клеточки. Поначалу «поющие и молчащие птицы», то есть активные и неактивные клеточки, размещаются на поле в беспорядке (рис.3,а). Но через несколько тактов «поющие» принимаются группироваться подле друг друга, образуя локальные скопления (рис.3,б), которые затем снова распадаются, а тем временем скопления возникают на новых местах. Разумеется, все участники этого «клеточного ансамбля» оставались на своих местах, время от времени переходя из одного состояния в другое. По экрану блуждали волны информации, порождающие всплески коллективной активности в локальных скоплениях. Хотя предположения о существовании таких волн орнитологи высказывали неоднократно, увидеть их воочию можно, пожалуй, лишь при посредстве компьютера (рис.3,в).

Глядя на бегущие по экрану волны и вспоминая свои наблюдения, мы все в большей степени склонялись к мысли, что многовидовые акустические ансамбли певчих птиц по всей совокупности присущих им особенностей вполне могут рассчитывать на достойное место в ряду самоорганизующихся систем. Так, свидетельством конкуренции за время в эфире может быть, например, глубокая дивергенция суточных ритмов разных видов или же отказ от синхронного пения на коротких отрезках времени путем настройки краткосрочных ритмов акустической активности. Имеются подтверждения и другого типа координации, имеющего прямо противоположную направленность и называемого звуковой индукцией. Следствие такой индукции — синхрониза-

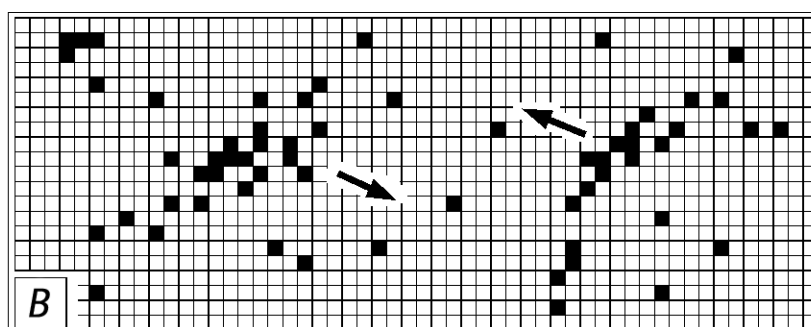
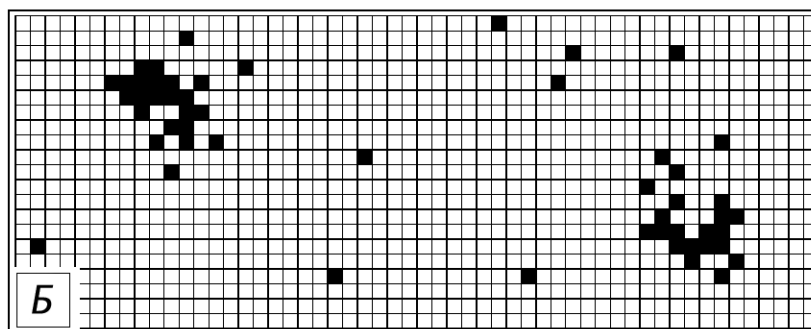
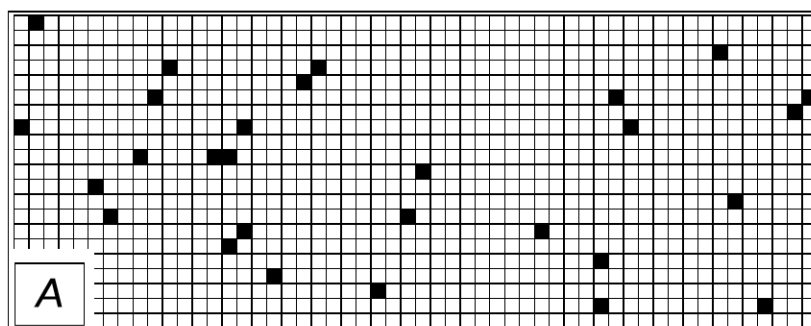
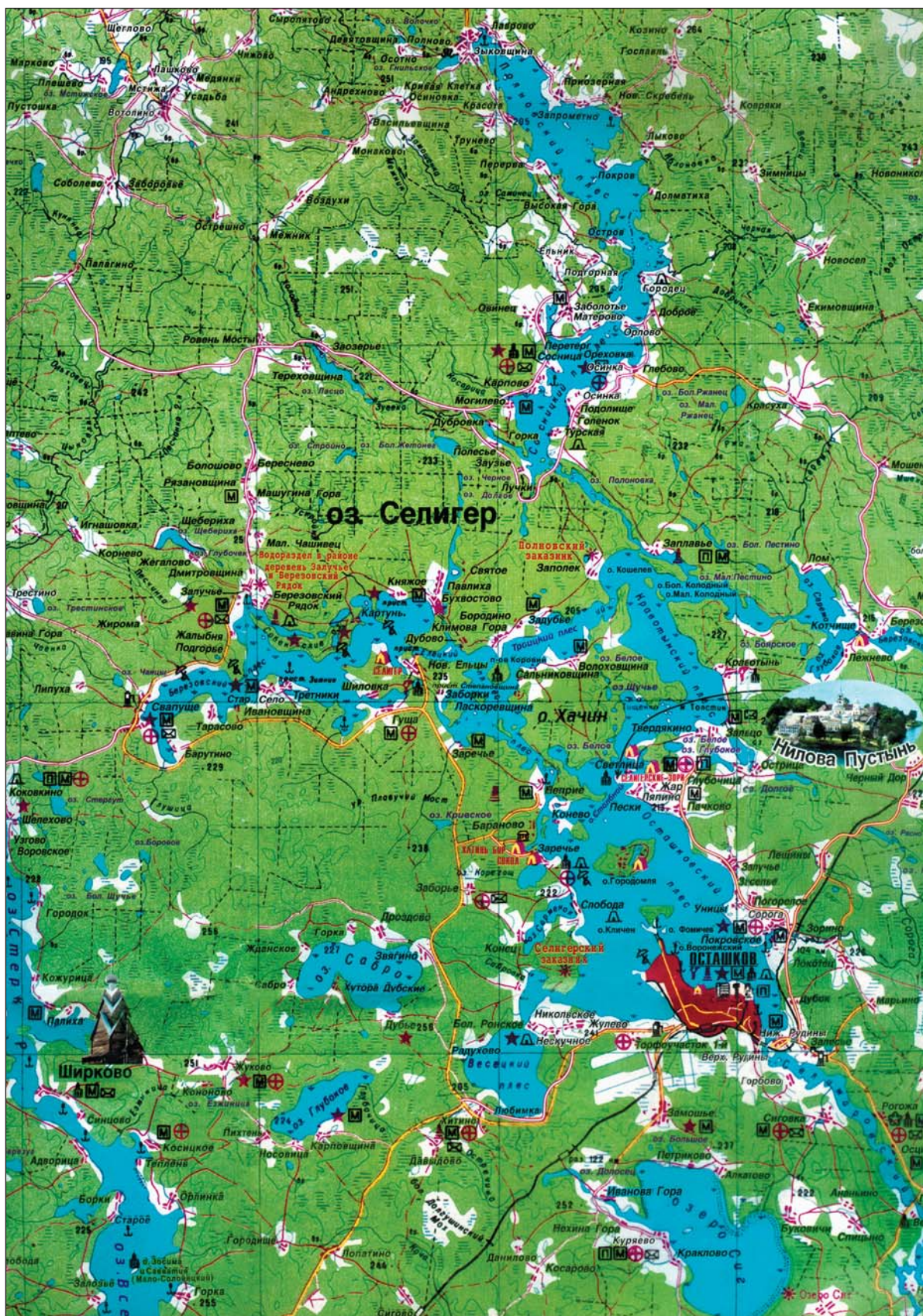


Рис.3. Модель из класса «клеточных автоматов» имитирует поведение хора певчих птиц. Черные клеточки — «поющие птицы», белые клеточки — «молчащие птицы». А — исполнители распределены случайно, Б — исполнители сосредоточены подле друг друга, В — перераспределение волн возбуждения (показано стрелками).

ция вокальной активности многих особей разных видов. К числу проявлений синхронизации можно отнести элементы цикличности в хоровом пении. Получены первые свидетельства того, что межвидовые акустические отношения регламентируют пространственное размещение особей разных видов птиц. Дальнейший прогресс в области изучения акустичес-

ких ансамблей мы связываем с совершенствованием приемов статистической обработки данных наблюдений и с созданием более сложных имитационных моделей. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 97-04-49559 и 01-04-48682.



Фрагмент туристической карты Верхневолжья с гидрологической системой Селигера.

Озеро Селигер — второй исток Волги

С.И.Шапоренко, Г.С.Шилькрот,

кандидаты географических наук

А.В.Тихомирова

Институт географии РАН

А.В.Леонов,

доктор химических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Селигер — одно из красивейших озер Центральной России, славившееся рыбным богатством. В последние десятилетия озеро и окружающая его живописная лесная природа с многочисленными водоемами, десятки питающих его притоков (весь этот край тоже называют Селигером), привлекает все больше отдыхающих. И хотя постоянное население невелико, местной администрации приходится задумываться о том, как сохранить чистоту здешних мест при нестабильном ныне хозяйстве и растущих потоках неорганизованных туристов. Известно, что для рациональной природоохранной деятельности нужна научная оценка экологического состояния водоема, выявление влияющих на него негативных факторов и в конце концов разработка величин допустимых антропогенных нагрузок. Наметьте подходы к решению этих задач попыталась в августе 2000 г. экспедиция московских гидрологов и гидрохимиков из двух академических институтов при содействии Тверского технического университета.

© С.И.Шапоренко, Г.С.Шилькрот,
А.В.Тихомирова, А.В.Леонов

Две гидрологические системы

Считают, что Селигер имеет ледниково-карстовое происхождение. Поэтому так сложна лопастная конфигурация его берегов. Озеро расчленено на многочисленные плесы, соединенные между собой протоками различной длины и ширины. Самые крупные и глубоководные — Осташковский (Городской, или Слободской: здесь располагается «столица» Селигера — г.Осташков), Полновский, Кравотынский, Селижаровский и Березовский. Площадь водного зеркала 212 км², длина с севера на юг 66 км, максимальная ширина с запада на восток 35 км. Длина береговой линии 528 км, средняя глубина озера составляет 5,8 м, а максимальная — 24 м. При среднемноголетнем уровне воды (205,48 м абс. высоты) полный объем озера составляет около 1300 млн м³. На его акватории насчитывается до 169 островов площадью от нескольких квадратных метров до 35 км² (о.Хачин).

Нельзя сказать, что Селигер обойден вниманием исследователей, хотя значительно уступает по изученности многим другим соседним озерам (напри-

мер, Ладожскому). На Селигер, расположенный на важном торговом пути между Петербургом и Москвой, обратили внимание еще при Петре I. Речь тогда шла о возможности создания водного пути через это озеро и оз.Ильмень от верховьев Волги к Балтийскому морю. Проект, правда, не состоялся, однако потребность в строительстве окончательно отпала только после пуска Николаевской железной дороги, связавшей северную столицу с Москвой.

Сегодня, когда растет дефицит чистой пресной воды, на первый план выходит другая важная роль Селигера и его притоков для всей Верхней Волги. На водосборе озера формируется весьма значительная по объему часть стока Волги (568 млн м³/год в створе д.Яровинка на р.Селижаровка). Эта величина в средний по водности год составляет 69% в месте впадения этого притока в Волгу в створе г.Селижарово.

Юго-западнее, за слабо выраженным в рельефе склоном Валдайской возвышенности, лежит другая, основная гидрологическая система, к которой собственно и принадлежит исток Волги. Здесь ежегодно формируется в среднем 826 млн м³ воды, а сток

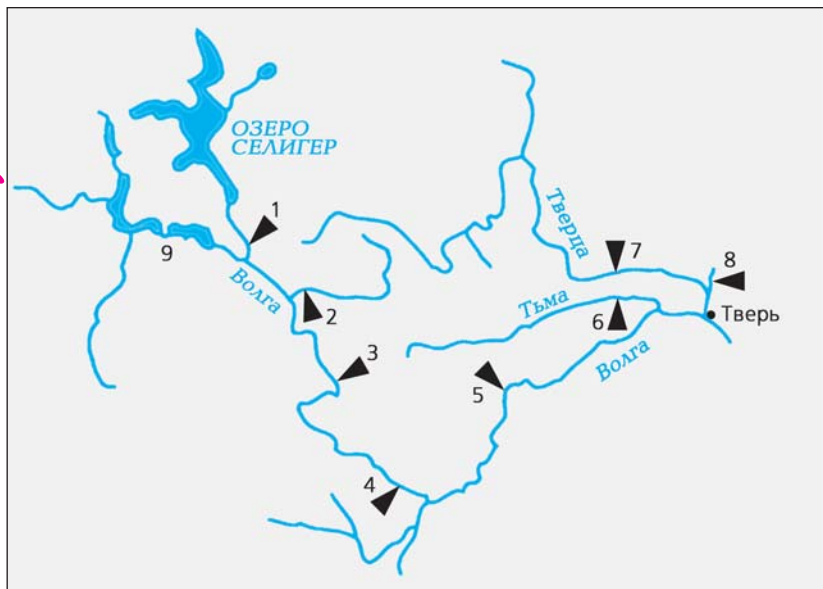


Схема расположения гидрометрических створов гидрологической системы оз.Селигер и Верхней Волги, используемых при проведении расчетов стока: 1 — р.Селижаровка (д.Яровинка), 2 — р.Большая Гоша (д.Пьянково), 3 — р.Волга (с.Ельцы), 4 — р.Волга (г.Ржев), 5 — р.Волга (г.Старица), 6 — р.Тьма (с.Новинки), 7 — р.Тверца (с.Медное), 8 — ручей Малица (с.Никола-Малица), 9 — Верхневолжское водохранилище.

регулируется Верхневолжским водохранилищем, которое представляет собой цепочку озер — Стерж, Вселуг, Пено и Волго. Большую часть года они находятся в подпоре благодаря построенной в 1843 г. и реконструированной в 1944—1947 гг. плотине. Верхневолжское — одно из первых крупных водохранилищ, построенных в России, тем не менее оно в 1.64 раза уступает Селигеру по вместимости воды. Таким образом, озеро служит весьма существенным резервом чистой воды для населения и отраслей хозяйства всего Верхневолжского бассейна.

Вниз по течению Волги, по мере увеличения ее водности за счет многочисленных притоков, вклад гидрологической системы Селигера в формирование водных ресурсов постепенно убывает, составляя в створе г.Твери 8—10% среднегодового стока Волги. Однако он заметно повышается в зимнюю и несколько меньше в летнюю межени, и особенно в экстремально

маловодные годы, достигая 60—65% в створе с.Ельцы, а г.Твери — более 20%. Эти показатели свидетельствуют еще об одной важной роли гидрологической системы оз.Селигер — увеличении водности Верхней Волги в маловодные периоды. Это влияние имеет существенное значение, распространяясь вплоть до Ивановского водохранилища.

Эффект озерности

В озеро впадает свыше 100 небольших рек и ручьев, вытекает только Селижаровка — левый приток Волги. Повышение уровня воды в озере увеличивает расходы воды в реке, что в свою очередь приводит к понижению уровня озера. Это хорошо известный в гидрологии эффект озерности, ярко проявляющийся в тесной взаимосвязи гидрологических режимов Селигера и Селижаровки. Чтобы оценить водорегулирующую роль Селигера мы использовали нормиро-

ванные параметры сезонного распределения стока р.Большая Коша в створе д.Пьянково. Эта река послужила своеобразным гидрологическим аналогом Селижаровки, поскольку обе имеют примерно одинаковый модуль стока и протекают в сходных физико-географических условиях, а Большая Коша не имеет в верховье озер [1].

Расчеты показали, что благодаря существованию озера объем стока Селижаровки в половодье уменьшается до 30% в средние по водности годы, а в экстремально многоводные — еще существеннее (25% от стока безозерной реки), и происходит это и в мае, и в апреле. В маловодные годы сток сокращается только в апреле, а в мае возрастает. Уменьшая расходы воды в половодье, озеро сдвигает время прохождения паводковой волны на более поздние сроки.

Селигер увеличивает средне-многолетние расходы воды Селижаровки в створе д.Яровинки примерно в два раза в летнюю межень и в три раза в зимнюю (февраль). Благодаря озеру в экстремально многоводные годы расходы в половодье сокращаются в 3—4 раза, а в экстремально маловодные увеличиваются в 4—5 раз в летнюю и в 2.5—3 раза в зимнюю межени.

Ниже по течению, в створе с.Ельцы, относительная водорегулирующая роль Селигера резко ослабевает. Как и для Селижаровки, на этом участке Волги она проявляется в наибольшей степени в экстремально маловодные годы. В половодье сток Волги в этом створе уменьшается в 1.5, а в межень увеличивается в 1.5—2 раза. Амплитуда колебания расходов воды между экстремальными по водности годами для апреля и мая уменьшается до 40—45%, а для июля — до 20—25%.

В створах городов Ржева и Старицы, где Волга становится более полноводной, влияние Селигера продолжает уменьшаться, делаясь более сглаженным в створе г.Твери. Здесь его заметно снижают попуски воды из Вы-



Экспедиция на оз.Селигер, август 2000 г.

Фото Т.А.Востоковой

шневолоцкого водохранилища, пополняющие левый приток Волги — Тверцу. В средние по водности и экстремально многоводные годы степень трансформации стока за счет Селигера не превышает 10%. В экстремально маловодные годы расходы воды в половодье, а также в летнюю и зимнюю межени за счет озера могут увеличиваться на 15—20%.

Большое значение гидрологической системы Селигера для Верхней Волги обусловлено морфометрическими параметрами чаши озера, коэффициентом водообмена (показателем скорости смены запасов воды в озерной чаше), количественными характеристиками притока в озеро и стока из него. Все это в совокупности описывает водный баланс озера. Однако, при всем внимании исследователей к Селигеру, изучен он пока слабо. Первую и пока единственную ориентировочную оценку элементов водного баланса Селигера для трех различных по водности лет (1902, 1915

и 1921) выполнила Н.И.Коновалова [2]. По ее расчетам, в указанные годы суммарный приток воды с бассейна озера составил соответственно 1238, 660 и 186 млн м³. На долю грунтового питания приходилось соответственно 16, 56 и 77%.

Располагая современными рядами наблюдений, мы провели количественную оценку среднегогодового стока в озеро с учетом площади водосбора каждой реки.

На карте водосбора Селигера масштаба 1:10 000 насчитывается 36 постоянных (не пересыхающих) притоков, средний суммарный сток которых составляет 372.5 млн м³. Самые полноводные из них (перед впадением в озеро): Крапивенка (среднегогодовой сток 49.6 млн м³); Сорога (43.2); Серемуха (42.9); Сиговка (29.9); Замошенка (23.8); Глубочица (21.8); Сабровка (21.0); Голодуша (20.1). Средний объем грунтового питания, включая и временные пересыхающие водотоки, равен 286.5 млн м³, его



Измерения расхода воды на р.Сороге.

Фото Е.Л.Виноградовой



Во многих местах протоки зарастают тростником и другой растительностью.

Фото Д.А.Брагина

доля не превышает 43% суммарного притока. Хотя это несколько меньше, чем по расчетам Коноваловой для стока в средний по водности год (1915), полученные оценки можно считать довольно близкими, учитывая различия в методологических подходах и использованных данных.

Для уточнения параметров водного баланса озера проводились инструментальные измерения скоростей течения и расходов воды в реках. Эти работы пришлось на время после выпадения большого количества осадков и прохождения дождевых паводков, что обусловило повышение расходов воды в реках и превышение среднеегодового уровня воды в Селигере на 0.7 м. Из обследованных притоков Осташковского плеса наиболее полноводна была Сорoga (расход воды составил $5.16 \text{ м}^3/\text{с}$), а наименее — р.Емша ($1.05 \text{ м}^3/\text{с}$). У Сиговки, Осницкой, Глубочицы и Сабровки расходы воды оказались соответст-

венно 3.53, 2.84, 2.69 и $2.40 \text{ м}^3/\text{с}$. Из-за высокого стояния уровня воды в озере расход составил $50.44 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе д.Нижние Котицы (р.Селижаровка).

Качество воды: история вопроса

Значение Селигера в формировании водных ресурсов Верхней Волги определяет особое к нему отношение, особенно с позиции сохранения качества озерных вод. Однако, к сожалению, экологическое состояние озера нельзя назвать достаточно благополучным в течение десятков лет.

Впервые на эту проблему внимание обратили в 1924 г. Представитель Центрального комитета водохранилища Я.Я.Никитинский обследовал загрязнение Осташковского плеса сбросами кожевенного завода — основного предприятия города. Хотя в донных отложениях Ем-

шинского залива, на берегу которого расположен завод, оказалось большое количество твердых отходов производства, существенных последствий для экосистемы озера обнаружено не было. Правда, спектр гидрохимических показателей, по которому проводилась оценка, не был в полной мере репрезентативным. Вызывают сомнения приведенные в отчете Никитинского и нулевые значения концентраций всех соединений азота с учетом того, что вода залива обогащается биогенными веществами р.Емши, которая берет начало на полях торфяных разработок.

Экспедиция гидробиологической лаборатории МГУ, обследовавшая Селигер в 1932—1933 гг., получила ценные результаты по гидробиологии и ихтиологии, но был произведен анализ химического состава всего 10 проб воды, что явно недостаточно для водоема размера Селигера [3].



Водная гладь Осташковского плеса.

Фото И.В.Шапоренко

Сотрудники Осташковского отделения Ленинградского института озерного рыбного хозяйства в 1959—1961 гг. обнаружили сильное загрязнение Емшинского залива из-за перебоев в работе очистных сооружений [4]. Сбросы большого количества сульфидов, хрома, активного хлора, органических отходов производства привели к периодическим заморам рыбы на акватории, примыкающей к заводу, и, кроме того, из-за плохого кислородного режима в зимний период — в Весецком плесе. Однако в целом кислородный режим озера посчитали благоприятным для развития гидробионтов, а по гидрохимическим и гидробиологическим показателям озеро отнесено к мезотрофному типу (с признаками дистрофии на отдельных участках). Напомним, что степень трофности (кормности) характеризует обеспеченность населения озера биогенными веществами, избыток которых при-

водит к цветению, зарастанию и умиранию многих водоемов.

Исследования Института географии РАН в 1964 и 1970—1971 гг., а также Института водных проблем РАН в 1991 г. подтвердили мезотрофный статус озера [5, 6], а сброс сточных вод с очистных сооружений кожевенного завода и коммунального предприятия Осташкова был признан главным фактором, ухудшающим экологическое состояние Осташковского плеса. Одним из показателей такого неблагоприятия стали считать периодическое ухудшение насыщения воды кислородом (гипоксию) вплоть до полного его отсутствия (аноксии), с образованием сероводорода в придонных водах относительно глубоководных впадин Осташковского, Кравотынского и Березовского плесов.

В 80-е годы, во время экспедиции Калининского политехнического института, Ю.П.Сабелев обратил внимание еще на



Отбор проб донных отложений с борта катера.

Фото Е.Л.Виноградовой



Сосны спускаются почти к урезу воды.

Здесь и далее фото Д.А.Брагина

один важный аспект экологического состояния водоема — природное подпитывание биогенными и органическими веществами, выносимыми в повышенных количествах с заболоченных и заторфованных участков водосбора. В сочетании со стагнационными условиями, также возникающими по естественным причинам, приток органики стимулирует развитие аноксии. Вот почему развитие сероводородных условий в глубоких слоях (гиполимнионе) отдельных плесов озера нельзя однозначно считать признаком антропогенного пресса на водоем.

Не случайно во время наших экспедиционных исследований 2000 г. особое внимание было уделено растворенным в озере газам (кислороду, сероводороду, метану, углекислоте). В программу работ входило также послойное определение содержания в воде всех форм биогенных веществ, в донных отложениях —

нефтяных углеводородов, в воде и осадках — широкого спектра микроэлементов. По составу наблюдений это была наиболее комплексная геохимическая экспедиция на Селигере. Для работ на воде был использован катер типа «Ярославец», предоставленный местной рыбинспекцией.

Результаты экспедиции

Исследования на акватории озера [7] показали, что, во-первых, при дождливой и ветреной погоде начала августа резкого температурного расслоения водной толщи в глубоководных впадинах не происходило. Если в поверхностном слое температура менялась в пределах 18.4—19.7°C, то в придонном слое на глубине 16.5—20 м ее значение составляло 16—16.4°C. Тем не менее в гиполимнионе дефицит кислорода возникал, хотя и не

такой резкий, как в 1960—1970 гг. Минимальное содержание кислорода 1.3 мг/л (12.8% насыщения) зафиксировано в придонном слое глубоководного участка у западного берега Осташковско-го плеса. Содержание гидросульфидов и сульфидов в этой точке составило 0.02 мг/л и не говорило о развитии сероводородного заражения. Из этого следует, что погода очень важный фактор для развития стагнационных процессов на озере. Развитие гипоксии, отмечавшееся в 70-е годы в северных, гораздо более благополучных с точки зрения загрязнения плесах озера, косвенно подтверждает этот вывод.

Во-вторых, за последнее десятилетие во много раз сократился сброс загрязняющих веществ (кроме жиров) с очистных сооружений кожевенного завода благодаря вводу в эксплуатацию в 1991—1992 гг. дополнительных фильтров биологической очистки сточных вод. Их

объемы по крайней мере не превышают в настоящее время поступления с притоком небольшой р.Емши (возможности возникновения залповых сбросов при аварийных ситуациях в данный момент нет возможности учитывать). Одним словом, значимость основного антропогенного фактора, стимулировавшего евтрофирование вод Осташковского плеса, резко снизилась.

В то же время нами отмечены более высокие концентрации нитратов (до 1.3 мгN/л) в Емшинском заливе. В глубинных водах и водах юго-западной части плеса концентрации органических форм фосфора оказались повышенными (до 0.15 мгP/л взвешенного фосфора и до 0.24 мгP/л растворенного), а содержание аммонийного азота достигало 0.6 мгN/л. В глубинных водах отмечена несколько

повышенная по сравнению с фоновой концентрация метана (до 4—4.9 мкл/л), что свидетельствовало о развитии процессов метанообразования, вызванных органическим загрязнением водоема. Видимо, роль сбросов с очистных сооружений загрязняющих веществ не самая главная в развитии процессов евтрофирования и усиления гипоксии в гипolimнионе Осташковского плеса.

Не выявлено и сильного влияния других антропогенных факторов, связанных с сельским хозяйством на водосборе. (Площадь угодий за 90-е годы сократилась примерно в 4 раза, а пашен — в 2 раза.)

Гидрохимические свойства Селигера формируют в основном естественные факторы. Лесной, заболоченный водосбор озера в основном слабо освоен, что

способствует поддержанию озерной экосистемы в состоянии, близком к естественному. Озерные воды плесов заметно обогащены привнесенным с водосбора гумусом, окрашивающим воды в желто-коричневый цвет, сохраняется невысокая минерализация воды (98—131 мг/л) с ионным составом, в котором преобладают гидрокарбонаты. Кроме того, для озера характерны послойное распределение кислорода и сравнительно невысокое в основной акватории плеса содержание минеральных и органических соединений фосфора и азота, а также соотношения их форм. В настоящее время в Осташковском плесе преобладает содержание органических растворенных форм фосфора и азота над минеральной растворенной и органической взвешенной формами. В евтрофных же



При высоком уровне вода подмывает корневую систему.



Песчаный берег Селигера.

водоемах, как правило, доминируют азот и фосфор либо в составе органической взвеси, либо в растворенной минеральной форме. Вместе с тем средние значения концентраций фосфора общего (0.07 мг/л) и азота общего (1.8 мг/л) уже перешли пределы, установленные для мезотрофных озер. Таким образом, из сопоставления результатов наших исследований с данными прошлых лет (1960 — начала 1990-х) следует, что гидрохимический режим озера довольно стабилен, а тенденция евтрофирования отдельных участков плеса сохраняется.

Содержание в воде тяжелых металлов и их накопление в донных осадках — один из важнейших показателей загрязнения водоемов и их экологического состояния. В экспедиции для отбора проб воды на микроэлементы мы использовали специальный пластиковый батометр, а для отбора проб донных осадков — океанологический дночерпатель.

Концентрация растворенных микроэлементов довольно значительно меняется по пространству акватории и незначительно — по глубине (за исключением Ni и Cd, средние содержания которых с глубиной уменьшаются примерно в два раза). В прибрежных водах г.Осташкова по сравнению с центральными участками акватории обнаружены повышенные концентрации V, Cr, Sr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mn, Fe, Ba и Pb. Однако по абсолютной величине они лежат в пределах колебаний концентраций этих элементов в водах притоков. Что касается Селижаровки, то в ней по сравнению с поверхностными водами озера выше содержание

Fe, Co, Zn, As и Cd соответственно в 2, 1.3, 4.3, 1.2 и 2.7 раза и ниже концентрации Cr, Mn, Ni, Cu, Cs и Pb соответственно в 1.5, 1.9, 2, 3.5, 13 и 2 раза. Тем не менее по абсолютным значениям они также не выходят за пределы колебаний, свойственных водам притоков. Содержание большинства микроэлементов в озере — на уровне или ниже их соответствующих ПДК (предельно допустимых концентраций) в водах рыбохозяйственных водоемов и водоемов санитарно-бытового назначения. Исключение составляют железо и медь, концентрации которых превышают ПДК в 1.6—2.9 и 3—7 раз соответственно. Но это связано не с антропогенным загрязнением, а с характерным региональным природным геохимическим фоном.

Не поддающаяся пока объяснению геохимическая аномалия обнаружена нами на о.Городомля. В водах родника (Святой источник около скита) на территории дома отдыха «Селигер» концентрация бария оказалась 1385 мкг/л, что соответствует почти 14 ПДК. Значительно повышено в воде родника по сравнению с фоном содержание стронция (2261 мкг/л) и урана (0.29 мкг/л).

В донных отложениях, как и в озерной воде, преобладают Fe и Mn, а также Al и Ti, больше всего этих элементов отмечено около о.Городомля и вблизи Осташкова. В илах Осташковского плеса заметно присутствие Pb, Zn, Ni и Co. Однако только концентрации Pb (55—67 мг/кг) и Zn (184—244 мг/кг) превысили фоновые. В сравнении с фоном (0.5 мг/кг) особенно высоко содержание в донных отложениях Cd (от <2 до 10 мг/кг).

Надо отметить, что средние концентрации некоторых микроэлементов (в частности Pb, Co, Cd и As), определенные в 2000 г., оказались ниже значений, полученных в 1991 г. Вероятно, это связано со снижением антропогенного воздействия на водную среду, но нельзя исключить и погрешностей аналитических методов предыдущих определений.

* * *

Сохранение природного потенциала оз.Селигер в дальнейшем определится развитием хозяйственной деятельности на его водосборе. Первоочередная задача здесь — модернизация очистных сооружений в г.Осташкове и на о.Городомля, которые в настоящее время полностью загружены и не имеют резервных емкостей. Любая их технологическая остановка чревата сбросами грязных стоков непосредственно в озеро, что приведет к катастрофическим загрязнениям прилегающих акваторий. Необходима научно обоснованная стратегия развития сельского хозяйства, определение емкости рекреационного потенциала побережий. Обустройство стационарных зон отдыха и мест «диких» стоянок туристов должно в первую очередь предотвратить попадание бытовых отходов в озеро. Предметом же будущих научных исследований должна стать проблема евтрофирования и потенциальных возможностей озера к самоочищению. ■

Финансовая поддержка работе была оказана программой «Интеграция» и Российским фондом фундаментальных исследований. Проекты №98-05-65031 и 01-05-64778.

Литература

1. Шапоренко С.И., Ясинский С.В. // Пробл. регион. экологии. 2001. №2. С.70—79.
2. Коновалова Н.И. // Вопр. географии. 1951. Вып.26. С.267—274.
3. Материалы к изучению Осташковских озер // Учен. зап. МГУ. Биология. 1936. Вып.8. С.24—108.
4. Озеро Селигер и его рыбные ресурсы / Под ред. П.А.Дрягина. Калинин, 1963.
5. Покровская Т.Н., Россолимо Л.Л. Черты евтрофирования озера Селигер // Типология озер. М., 1967. С.27—52.
6. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Золотарева Н.С. // Вод. ресурсы. 1997. Т.24. №3. С.344—351.
7. Леонов А.В., Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С. и др. // Вод. ресурсы. 2002. Т.29. №2. С.1—16.

Клады древнего Садона

М.М.Константинов,
*доктор геолого-минералогических наук, профессор
 Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт
 Министерства природных ресурсов России
 Москва*

Рудные месторождения, как и котьята, рождаются слепыми. На километровых глубинах в крошечной тьме природа залечивает свои раны (разломы земной коры), заполняя их горячими водными растворами, из которых кристаллизуются рудные минералы. И только миллионы лет спустя воздымание гор и их эрозия приводят к обнажению руд на земной поверхности, и они становятся добычей жадной до металлов человеческой цивилизации. Но некоторые из месторождений так и остаются слепыми, т.е. не выходящими на поверхность. Для старых горнодобывающих предприятий, которые уже исчерпали все ресурсы добычи, открытие таких скрытых месторождений остается последним шансом продлить свое существование. Такова судьба и Садонского горнообогатительного комбината.



Ветераны-геологи. Справа налево — М.М.Константинов, А.Б.Дзайнуков, В.Б.Цогоев. Крайний слева — водитель Руслан.

Здесь и далее фото автора

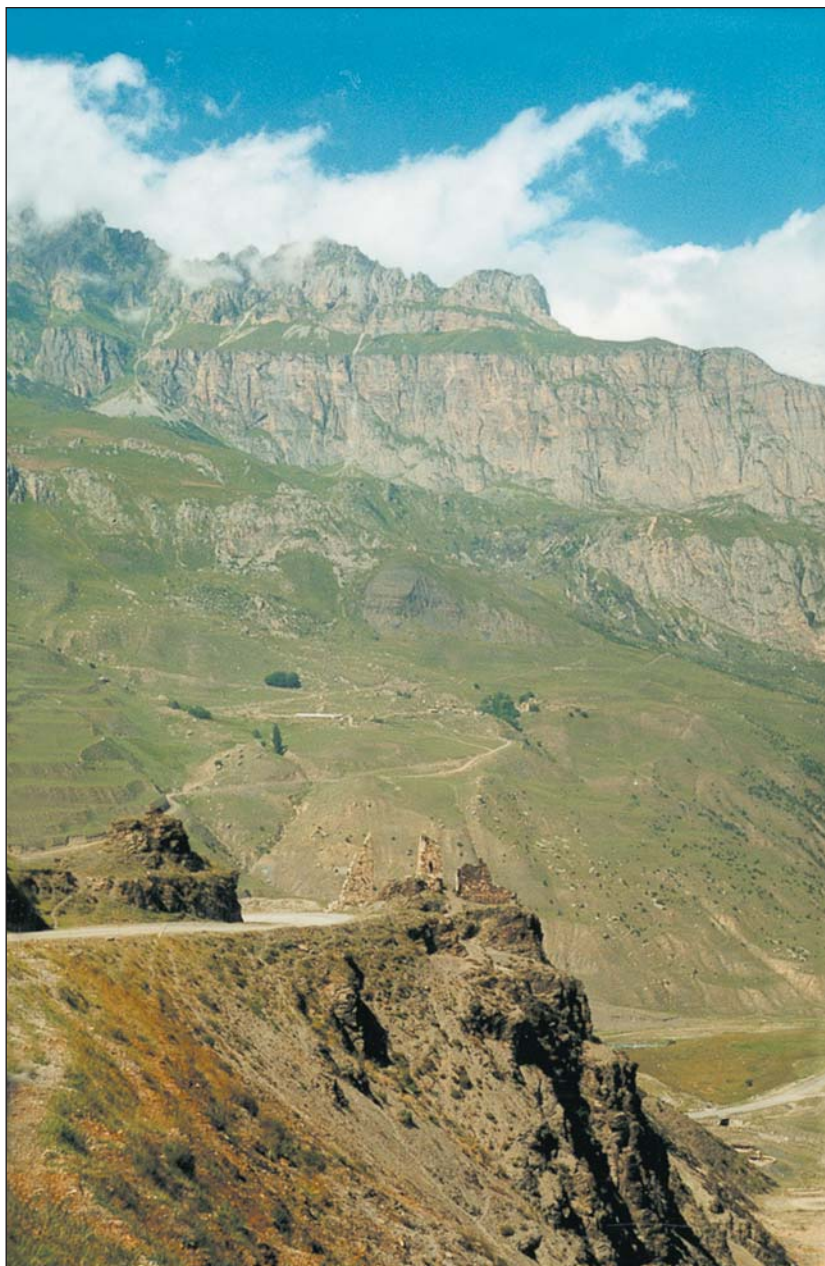
Немного истории

Еще в начале прошлого века бельгийцы построили во Владикавказе завод по переработке свинцово-цинковых руд Садонского месторождения и для получения металлических слитков. После революции добыча

руд возобновилась. В.А.Обручев, посетивший в 20-х годах месторождение Садон в качестве эксперта, положительно оценил его перспективы. После этого был открыт целый ряд новых свинцово-цинковых месторождений, составивших Садонский рудный пояс, а завод «Электроцинк» многократно модифици-

ровался и в настоящее время представляет собой первоклассное предприятие, извлекающее из руд не только свинец и цинк, но и целый ряд очень ценных попутных компонентов — золото, серебро, кадмий, индий, таллий, галлий.

Для меня работа на свинцово-цинковых месторождениях



Сложенные известняком отроги Скалистого хребта. В них установлены геохимические аномалии золота, серебра, свинца и цинка.

Садонского пояса сопряжена с некоторой мистикой. Я пришел в Орджоникидзе в 1960 г., сразу по окончании Московского геологоразведочного института, и первый, с кем познакомился, был главный геолог треста «Севкавцветметразведка» Виктор Батырбекович Цогоев — типичный сын Кавказа: горячий, мудрый и бесконечно добрый.

Прошло 40 лет, и руководство Министерства природы РФ решило, что я наиболее подходящая кандидатура для возрождения угасающей рудной геологии этого района, а с ней и горнодобывающей промышленности. И первый человек, который встретил меня в аэропорту, был Виктор Батырбекович, вполне узнаваемый, но совсем седой,

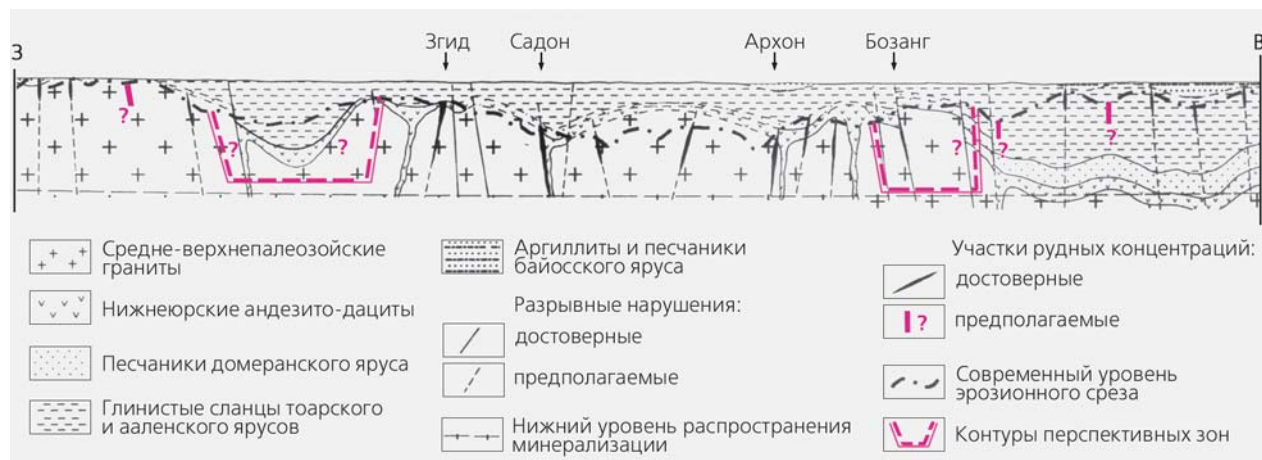
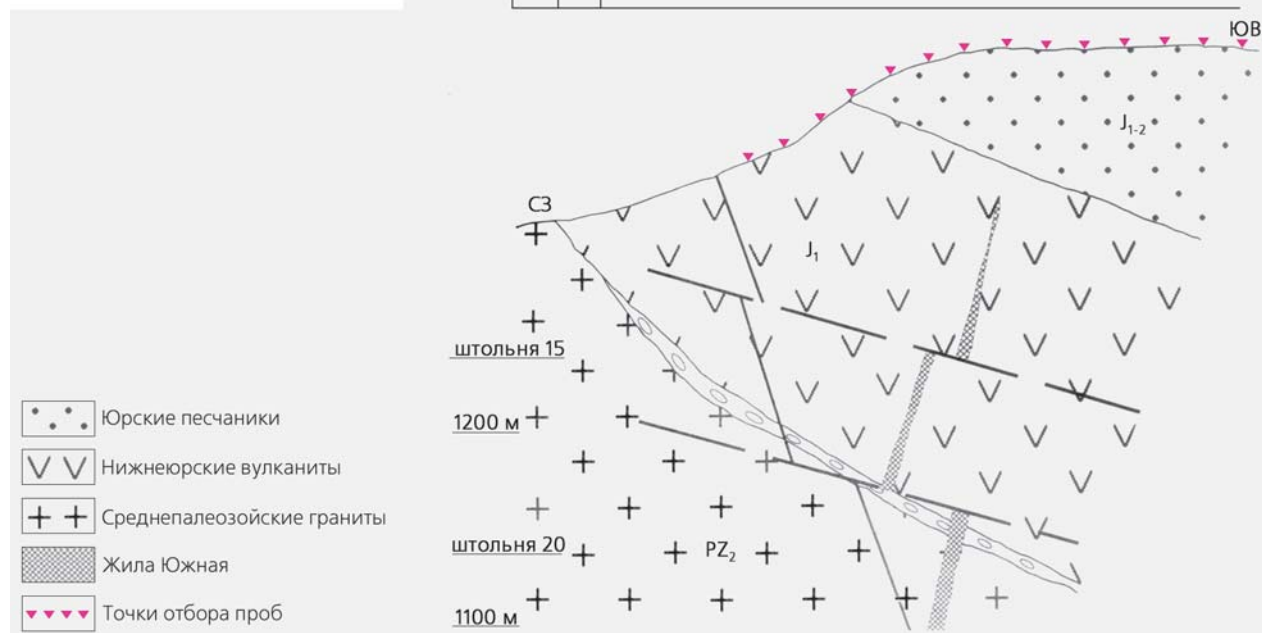
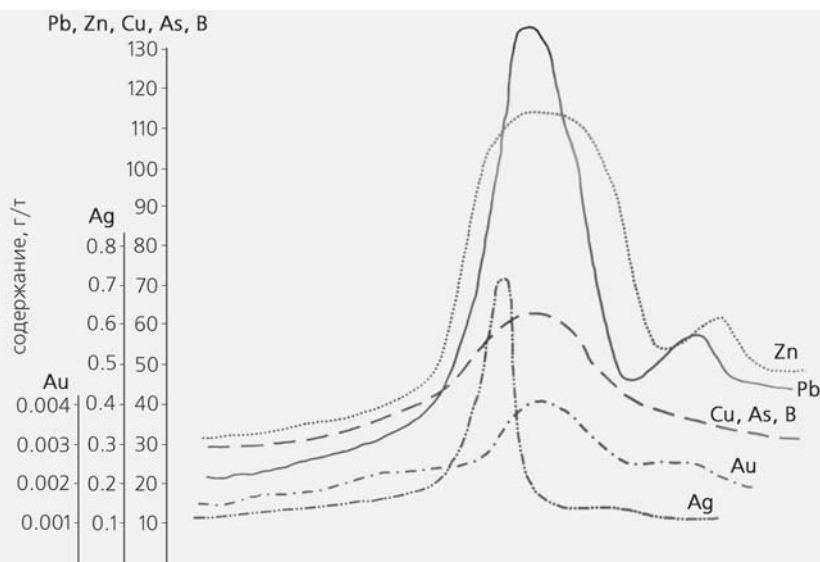
еще более мудрый, но менее горячий и к тому же находящийся примерно на той же должности — заместителя председателя Комитета природных ресурсов Осетии, т.е. снова главный геолог. К вящему удовольствию я встретил здесь и бывшего главного геолога «Таджикгеологии» А.Б.Дзайнукова, вернувшегося на свою историческую родину, с которым мы раньше решали проблемы золотоносности Таджикистана.

Задача перед нами была сложная. Этот рудный район Северного Кавказа хорошо изучен. За прошедшие десятилетия проводились детальные геологические съемки, разнообразные специализированные исследования, обстоятельно и с применением современных методов изучались отдельные месторождения — и все это до тех пор, пока они не были полностью отработаны. Так что первое, что пришло в голову, — поиск скрытых, не выходящих на поверхность, руд.

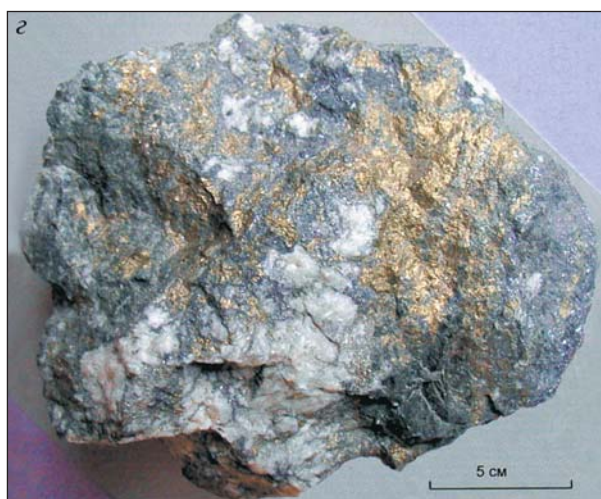
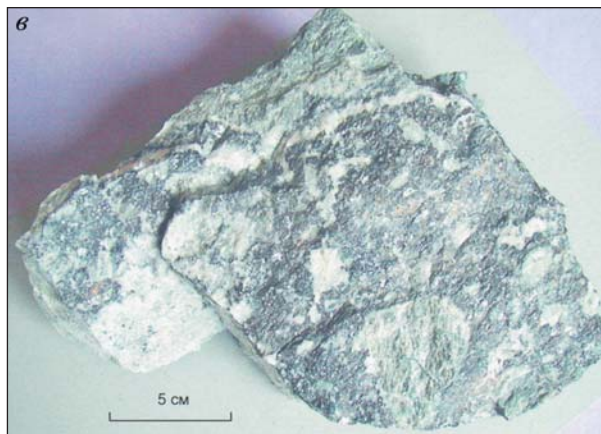
Немного геологии

Садонский свинцово-цинковый рудный пояс связан с оваловидным выходом палеозойских гранитов в ядре антиклинальной складки. Граниты последовательно обрамляются юрскими вулканическими, песчаниково-глинистыми толщами и известняками. Последние образуют на севере Скалистый хребет. Разломы, пересекающие граниты и поперечные простиранию складки, заполнены рудным веществом. Они-то и составляли ряд месторождений, к настоящему времени почти полностью отработанных — Садонское, Згидское, Архонское, Холстинское и другие более мелкие. Работая на Архонском месторождении, уже тогда, в 60-х годах, мы познакомились с классическим слепым рудным телом — жилой Южной, которая никак не проявлялась на поверхности. На глубине 50 м она

Геохимические ореолы в надрудной части жилы Южной месторождения Архон. Внизу приведен геологический разрез района. Пики содержаний элементов характеризуют пробы, отобранные над жилой Южной (по Н.П.Варгуниной).



Продольный геологический разрез через Садонский рудный пояс.



Руды месторождений Згид (слева) и Бозанг: а — массивная свинцовая, б — кокардовая свинцово-цинковая, в — брекчиевая свинцово-цинковая, г — брекчиевая медно-свинцовая.

была слабоминерализованной трещиной, а на глубине 100 м — великолепной четкой однодвухметровой жилой, состоящей из сульфидов свинца, цинка и железа. Запомним позицию этого рудного тела: оно располагается в районе погружения куполовидного выступа палеозойских гранитов. Интересно, что за годы нашего отсутствия жила Южная была детальнейшим образом изучена всевозможными методами, но никому не пришло в голову проверить, опознается ли она простейшим геохимическим профилированием. Оказывается, опознается, и достаточно четко, — положительными аномалиями (сущест-

венным превышением содержания элементов по сравнению с фоновыми) целого ряда элементов: Pb, Zn, Ag.

Но за прошедшие годы произошло другое важное событие — открытие скрытого месторождения Бозанг на восточном фланге рудного пояса.

Немного истории и геологии вместе

Удивительно, но возможность открытия скрытых месторождений в этом районе была предсказана еще в 1958 г.(!) ныне покойным профессором Г.Д.Ажгирсем. В 60-е годы, когда

мы начинали свои работы на Северном Кавказе, времена для науки были не простые. Стараниями тогдашнего министра геологии П.Я.Антропова вокруг науки создавалась аура никчемности и бесполезности, на что радостно реагировали некоторые недалекие местные начальники геологических управлений. В результате практические рекомендации ученых, да еще московских, да еще профессоров, буквально принимались в штыки. И только когда «жареный петух клюнул», т.е. ресурсы для горного комбината стали истощаться, на эту территорию стали обращать внимание. понадобилось еще 10 лет, чтобы

открыть и разведать новое, полностью скрытое рудное тело.

Из чего исходил покойный профессор, предсказывая существование здесь новых месторождений? Погружаясь на восток, рудовмещающие палеозойские граниты местами всплывают в виде небольших куполов [1]. Возникают структурные напряжения, благоприятные для формирования скрытых разломов и локализации в них руд (вспомним позицию скрытой жилы Южной).

В аналогичной ситуации находится и Бозанг, на котором геологами Северной Осетии разведано ни много ни мало, как 170 тыс. т свинца и цинка! Разлом, вмещающий месторождение, выклинивается на глубине 150 м; постепенно заполняясь рудными минералами и увеличиваясь в мощности, уже на глубине 100 м представляет двухметровое по мощности рудное тело с высокими концентрациями свинца, цинка и меди.

Оказалось, что геохимические методы, четко показавшие скрытое рудное тело на глубине нескольких десятков метров, на больших глубинах давали довольно размазанную картину, по которой трудно зафиксировать осевую часть геохимической аномалии. Зато удачно проявили себя электрогеофизические

методы — вертикальное электроразведывание и частотное электроразведывание. Они и обнаружили месторождение как линейную зону повышенной электропроводности.

Более того, оказалось, что разведана только небольшая часть рудоносной структуры, уходящей к северу на 1–1.5 км и проникающей в известняки Скалистого хребта. На ее продолжении шлиховым анализом установили минералы свинца и цинка — галенит и сфалерит.

Таким образом, несмотря на высокую изученность района, есть реальная база для сдержанного оптимизма в поиске новых скрытых месторождений.

Что делать?

Это не извечный вопрос страдающей русской интеллигенции. В данном случае это решение судьбы горнодобывающей промышленности Северной Осетии — форпоста России на Кавказе.

Взглянем на продольную проекцию Садонского рудного пояса с вынесенными основными свинцово-цинковыми месторождениями. У геологов-рудников существует правило *рудного шага*, согласно которому месторождения размещаются

друг от друга примерно в равном интервале. Это хорошо видно на представленном разрезе, но заметны и два особо четких провала: один — на востоке, другой — на западе. Восточный провал закрыт сначала прогнозом профессора Ажигрея. Много лет спустя здесь было открыто месторождение Бозанг. На западе геологическая ситуация очень сходна: погружение палеозойских гранитов под осадочный чехол, куполовидное поднятие на фоне этого общего погружения и маломощная прожилковая свинцово-цинковая минерализация, которую геохимики идентифицируют в качестве верхней, чехольной части возможного скрытого рудного тела. Электрофизическими методами установлена мощная зона высокой проводимости, не фиксируемая на поверхности геологическим картированием. Так что и здесь целеустремленные поиски могут принести положительные результаты [2]. Однако некоторые чиновники от геологии мало изменились за последние 40 лет — как и прежде, они не понимают, что научными методами можно решать важные практические проблемы. Неужели понадобятся еще 40 лет, чтобы сбылись прогнозы еще одного покойного профессора? ■

Литература

1. Ажигрей Г.Д. // Изв. вузов. Геология и разведка. 1958. №4.
2. Константинов М.М. Факторы локализации скрытого свинцово-цинкового оруденения Садонского рудного пояса // Тр. ЦНИГРИ. Вып.99. М., 1971.

Этология

Как мать и дитя ушастых тюленей находят друг друга

Самое главное для детеныша ушастого тюленя — острый слух: через несколько дней после появления его на свет мать уплывает на одну-две недели

в океан на промысел рыбы. Если малыш в гомоне соплеменников на лежбище не сможет выделить ее голос и откликнуться, он будет обречен на голодную смерть.

И.Шарье (I.Charrier; Университет Жан-Монне в Сент-Этьенне, Франция) изучала южных морских котиков (*Arctocephalus tropicalis*) из рода ушастых тю-

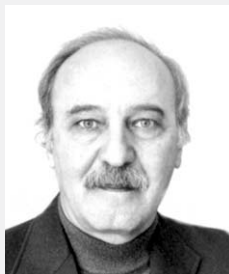
леней, обитающих на о.Амстердам (владение Франции в Индийском океане) и пришла к заключению, что после рождения детеныша мать затрачивает от двух до пяти дней на то, чтобы он запомнил ее голос. Если мать в этом не уверена, она даже может отложить выход на охоту.

Sciences et Avenir. 2001. №656. P.36 (Франция).

Сюрпризы митохондриального генома

Г.М.Дымшиц

Со времени обнаружения в митохондриях молекул ДНК прошло четверть века, прежде чем ими заинтересовались не только молекулярные биологи и цитологи, но и генетики, эволюционисты, а также палеонтологи и криминалисты, историки и лингвисты. Такой широкий интерес спровоцировала работа А.Уилсона из Калифорнийского университета. В 1987 г. он опубликовал результаты сравнительного анализа ДНК митохондрий, взятых у 147 представителей разных этносов всех человеческих рас, заселяющих пять континентов. По типу, местоположению и количеству индивидуальных мутаций установили, что все митохондриальные ДНК возникли из одной предковой последовательности нуклеотидов путем дивергенции. В околonaучной прессе вывод этот интерпретировали крайне упрощенно — все человечество произошло от одной женщины, названной митохондриальной Евой (и дочери и сыновья получают митохондрии только от матери), которая жила в Северо-Восточной Африке около 200 тыс. лет назад. Еще через 10 лет удалось расшифровать фрагмент ДНК митохондрий, выделенный из останков неандертальца, и оценить время существо-



Григорий Моисеевич Дымшиц, доктор биологических наук, профессор кафедры молекулярной биологии Новосибирского государственного университета, заведующий лабораторией структуры генома Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН. Область научных интересов — структурно-функциональная организация генома, химическая модификация нуклеиновых кислот. Автор около 150 публикаций в отечественных и зарубежных журналах. Соавтор и редактор четырех школьных учебников по общей биологии.

вания последнего общего предка человека и неандертальца в 500 тыс. лет назад [1].

Сегодня митохондриальная генетика человека интенсивно развивается как в популяционном, так и в медицинском аспекте. Установлена связь между рядом тяжелых наследственных заболеваний и дефектами в митохондриальных ДНК. Генетические изменения, ассоциированные со старением организма, наиболее выражены в митохондриях. Что же представляет из себя геном митохондрий, отличающийся у человека и других

животных от такового у растений, грибов и простейших и по размеру, и по форме, и по генетической емкости? Как работает и как возник митохондриальный геном у разных таксонов? Об этом и пойдет речь в нашей статье.

У всех эукариот — будь это малярийный плазмодий, мельчайший одноклеточный паразит, разрушающий эритроциты человека, или сам человек, гигантская свободноживущая клетка амeba протей, микроскопическая колония дрожжей или

гриб, имеющий многокилометровый мицелий, эфемерные насекомые поденки или тысячетелные секвойи — у всех генетическая информация содержится не только в хромосомах клеточного ядра, но и в митохондриях — самовоспроизводящихся полуавтономных органеллах клетки, имеющих собственный геном. В то время как *ядерный геном* представляет собой совокупность линейных молекул ДНК гаплоидного набора хромосом, *митохондриальный геном* — одну или несколько кольцевых (редко линейных) молекул ДНК (мтДНК). В исключительных случаях эвкариотические клетки не содержат митохондрий, например некоторые паразитирующие в кишечнике анаэробные амебы.

Митохондрии называют энергетическими станциями клетки. Помимо наружной гладкой мембраны они имеют внутреннюю мембрану, образующую многочисленные складки — кристы. В них встроены белковые компоненты дыхательной цепи — ферменты, участвующие в преобразовании энергии химических связей окисляемых питательных веществ в энергию молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Такой «конвертируемой валютой» клетка оплачивает все свои энергетические потребности. В клетках зеленых растений помимо митохондрий есть еще и другие энергетические станции — хлоропласты. Они работают на «солнечных батареях», но тоже образуют АТФ из АДФ и фосфата. Как и митохондрии, хлоропласты — автономно размножающиеся органеллы — также имеют две мембраны и содержат ДНК.

В матриксе митохондрий, кроме ДНК, находятся и собственные рибосомы, по многим характеристикам отличающиеся от эвкариотических рибосом, расположенных на мембранах эндоплазматической сети. Однако на рибосомах митохондрий образуется не более 5% от всех белков, входящих в их со-

став. Большая часть белков, составляющих структурные и функциональные компоненты митохондрий, кодируется ядерным геномом, синтезируется на рибосомах эндоплазматической сети и транспортируется по ее каналам к месту сборки. Таким образом, митохондрии — это результат объединенных усилий двух геномов и двух аппаратов транскрипции и трансляции. Некоторые субъединичные ферменты дыхательной цепи митохондрий состоят из разных полипептидов, часть которых кодируется ядерным, а часть — митохондриальным геномом. Например, ключевой фермент окислительного фосфорилирования — цитохром-*c*-оксидаза у дрожжей состоит из трех субъединиц, кодируемых и синтезируемых в митохондриях, и четырех, кодируемых в ядре клетки и синтезируемых в цитоплазме. Экспрессией большинства генов митохондрий управляют определенные гены ядер.

Размеры и формы митохондриальных геномов

К настоящему времени прочитано более 100 разных геномов митохондрий. Набор и количество их генов в митохондриальных ДНК, для которых полностью определена последовательность нуклеотидов, сильно различаются у разных видов животных, растений, грибов и простейших. Наибольшее количество генов обнаружено в митохондриальном геноме жгутикового простейшего *Rectinomonas americana* — 97 генов, включая все кодирующие белок гены, найденные в мтДНК других организмов. У большинства высших животных геном митохондрий содержит 37 генов: 13 для белков дыхательной цепи, 22 для тРНК и два для рРНК (для большой субъединицы рибосом 16S рРНК и для малой 12S рРНК). У растений и простейших, в отличие от жи-

вотных и большинства грибов, в митохондриальном геноме закодированы и некоторые белки, входящие в состав рибосом этих органелл. Ключевые ферменты матричного полинуклеотидного синтеза, такие как ДНК-полимераза (осуществляющая репликацию митохондриальной ДНК) и РНК-полимераза (транскрибирующая геном митохондрий), зашифрованы в ядре и синтезируются на рибосомах цитоплазмы. Этот факт указывает на относительность автономии митохондрий в сложной иерархии эвкариотической клетки.

Геномы митохондрий разных видов отличаются не только по набору генов, порядку их расположения и экспрессии, но по размеру и форме ДНК. Подавляющее большинство описанных сегодня митохондриальных геномов представляет собой кольцевые суперспирализованные двуцепочечные молекулы ДНК. У некоторых растений наряду с кольцевыми формами имеются и линейные, а у некоторых простейших, например инфузорий, в митохондриях обнаружены только линейные ДНК [2].

Как правило, в каждой митохондрии содержится несколько копий ее генома. Так, в клетках печени человека около 2 тыс. митохондрий, и в каждой из них — по 10 одинаковых геномов. В фибробластах мыши 500 митохондрий, содержащих по два генома, а в клетках дрожжей *S.cerevisiae* — до 22 митохондрий, имеющих по четыре генома.

Митохондриальный геном растений, как правило, состоит из нескольких молекул разного размера. Одна из них, «основная хромосома», содержит большую часть генов, а кольцевые формы меньшей длины, находящиеся в динамическом равновесии как между собой, так и с основной хромосомой, образуются в результате внутри- и межмолекулярной рекомбинации благодаря наличию повторенных последовательностей (рис.1).

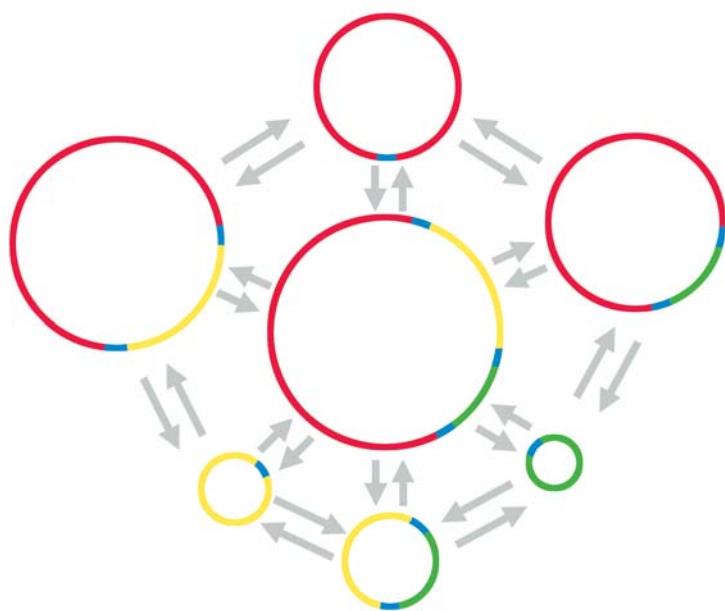


Рис1. Схема образования кольцевых молекул ДНК разного размера в митохондриях растений. Рекомбинация происходит по повторенным участкам (обозначены синим цветом).

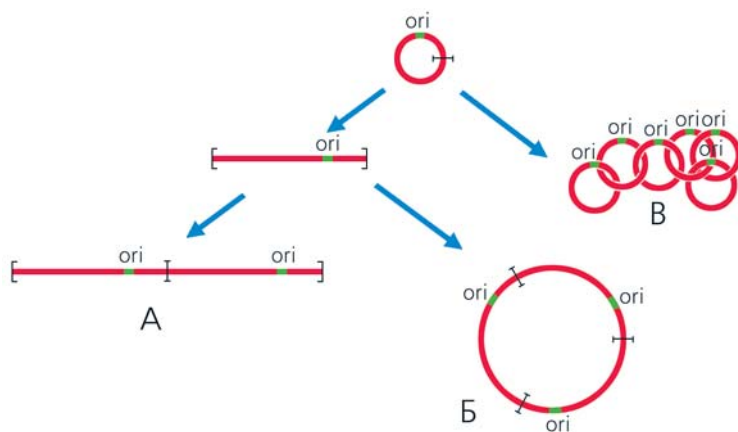


Рис2. Схема образования линейных (А), кольцевых (Б), цепных (В) олигомеров мтДНК. ori — район начала репликации ДНК.

В митохондриях большинства организмов (кроме высших животных) часть кольцевых молекул ДНК присутствует в виде олигомеров, которые можно разделить на три класса: линейные; кольцевые, имеющие контурную длину, кратную длине мономерных колец; цепные, катенаны, состоящие из топологически связанных, т.е. продетых

друг в друга, мономерных колец (рис.2). Так, в единственной митохондрии простейших из отряда кинетопластид, включающего эндопаразита человека — трипаносому, содержатся тысячи кольцевых молекул ДНК. У *Trypanosoma brucei* имеются два типа молекул: 45 одинаковых макси-колец, каждое из которых состоит из 21 тыс. пар

нуклеотидов, и 5.5 тыс. идентичных друг другу мини-колец по 1000 пар нуклеотидов. Все они, соединяясь в катенаны, образуют переплетенную сеть, которая вместе с белками формирует структуру, называемую кинетопластом.

Размер генома митохондрий разных организмов колеблется от менее 6 тыс. пар нуклеотидов у малярийного плазмодия (в нем, помимо двух генов рРНК, содержится только три гена, кодирующих белки) до сотен тысяч пар нуклеотидов у наземных растений (например, у *Arabidopsis thaliana* из семейства крестоцветных 366 924 пар нуклеотидов). При этом 7–8-кратные различия в размерах мтДНК высших растений обнаруживаются даже в пределах одного семейства. Длина мтДНК позвоночных животных отличается незначительно: у человека — 16 569 пар нуклеотидов, у свиньи — 16 350, у дельфина — 16 330, у шпорцевой лягушки *Xenopus laevis* — 17 533, у карпа — 16 400. Эти геномы сходны также и по локализации генов, большинство которых располагаются встык; в ряде случаев они даже перекрываются, обычно на один нуклеотид, так что последний нуклеотид одного гена оказывается первым в следующем. В отличие от позвоночных, у растений, грибов и простейших мтДНК содержат до 80% некодирующих последовательностей. У разных видов порядок генов в геномах митохондрий отличается.

Высокая концентрация активных форм кислорода в митохондриях и слабая система репарации увеличивают частоту мутаций мтДНК по сравнению с ядерной на порядок. Радикалы кислорода служат причиной специфических замен Ц→Т (дезаминирование цитозина) и Г→Т (окислительное повреждение гуанина), вследствие чего, возможно, мтДНК богаты АТ-парами. Кроме того, все мтДНК обладают интересным свойством — они не метилируются,

в отличие от ядерных и прокариотических ДНК. Известно, что метилирование (временная химическая модификация нуклеотидной последовательности без нарушения кодирующей функции ДНК) — один из механизмов программируемой инактивации генов [3].

Репликация и транскрипция ДНК митохондрий млекопитающих

У большинства животных комплементарные цепи в мтДНК значительно различаются по удельной плотности, поскольку содержат неодинаковое количество «тяжелых» пуриновых и «легких» пиримидиновых нуклеотидов. Так они и называются — H (heavy — тяжелая) и L (light — легкая) цепь. В начале репликации молекулы мтДНК образуется так называемая D-петля (от англ. displacement loop — петля смещения). Эта структура, видимая в электронный микроскоп, состоит из двуцепочечного и одноцепочечного (отодвинутой части H-цепи) участков. Двуцепочечный участок формируется частью L-цепи и комплементарным ей вновь синтезированным фрагментом ДНК длиной 450—650 (в зависимости от вида организма) нуклеотидов, имеющим на 5'-конце рибонуклеотидную затравку, которая соответствует точке начала синтеза H-цепи (ori H). Синтез L-цепи начинается лишь тогда, когда дочерняя H-цепь доходит до точки ori L. Это обусловлено тем, что область инициации репликации L-цепи доступна для ферментов синтеза ДНК лишь в одноцепочечном состоянии, а следовательно, только в расплетенной двойной спирали при синтезе H-цепи. Таким образом, дочерние цепи мтДНК синтезируются непрерывно и асинхронно (рис.3).

В митохондриях общее число молекул с D-петлями значительно превышает число полно-

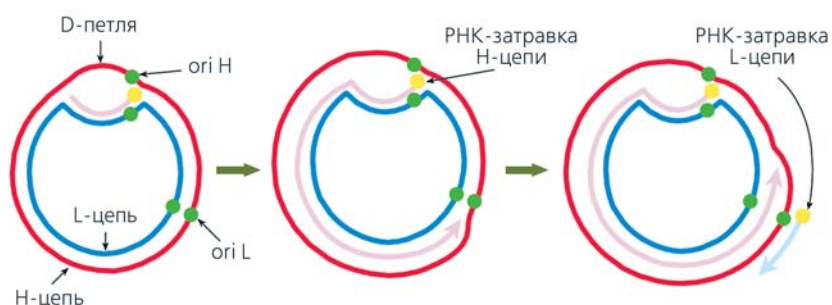


Рис3. Схема репликации мтДНК млекопитающих. Сначала формируется D-петля, затем синтезируется дочерняя H-цепь, потом начинается синтез дочерней L-цепи.

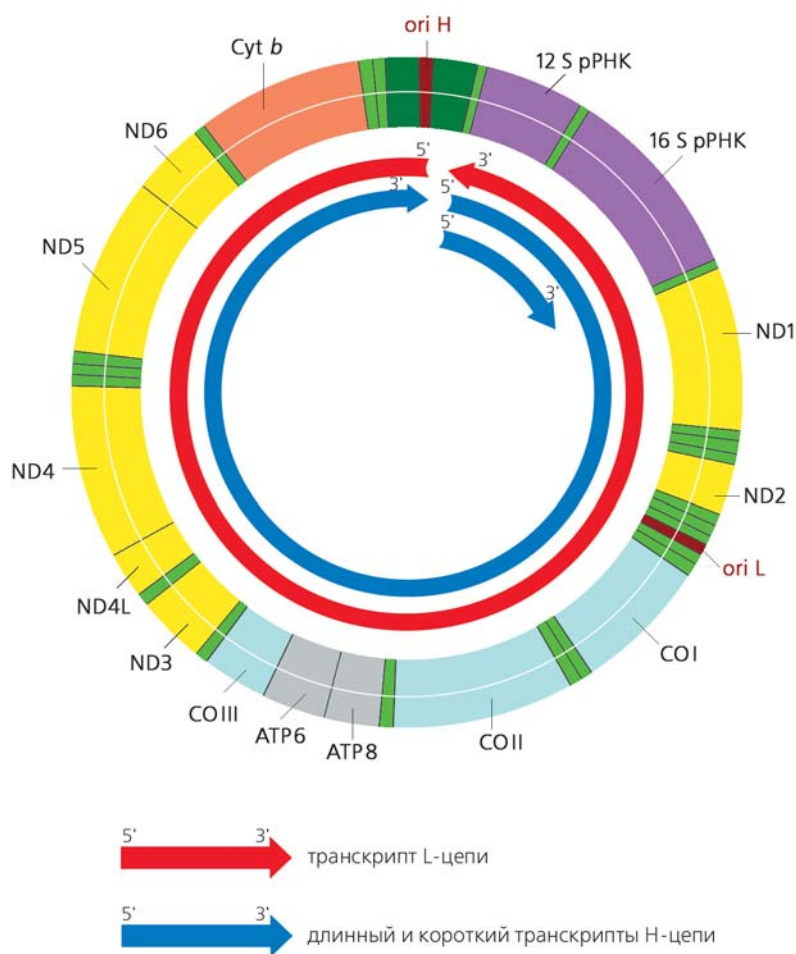


Рис4. Транскрипция мтДНК человека, содержащей 37 генов. Все транскрипты начинают синтезироваться в районе ori H. Рибосомные РНК вырезаются из длинного и короткого транскриптов H-цепи. тРНК образуются в результате процессинга из транскриптов обеих цепей ДНК. Гены тРНК обозначены светло-зеленым цветом. ND1—ND6, ND4L — гены субъединиц НАД-Н-дегидрогеназного комплекса; COI—COIII — гены субъединиц цитохром-с-оксидазы; ATP6, ATP8 — гены субъединиц АТФ-синтетазы; Cyt b — ген цитохрома b.

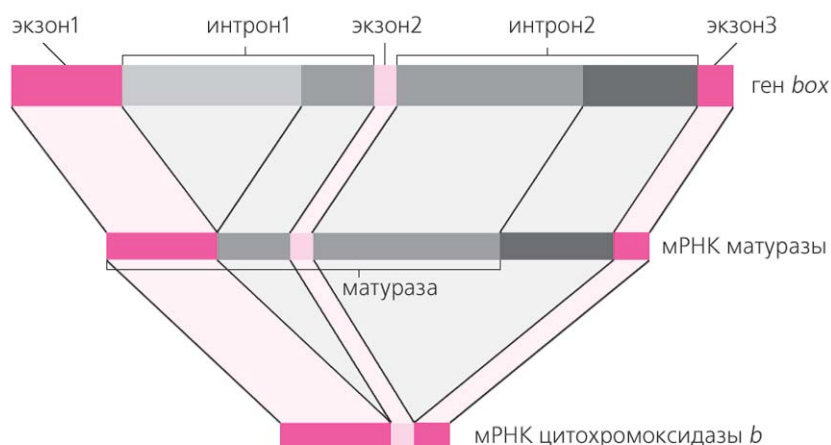


Рис.5. Процессинг (созревание) мРНК цитохромоксидазы *b* в митохондриях дрожжей. На первом этапе сплайсинга образуется мРНК, по которой синтезируется матураза, необходимая для второго этапа сплайсинга.

стью реплицирующихся молекул. Обусловлено это тем, что у D-петли есть дополнительные функции — прикрепление мтДНК к внутренней мембране и инициация транскрипции, поскольку в этом районе локализованы промоторы транскрипции обеих цепей ДНК.

В отличие от большинства эукариотических генов, которые транскрибируются независимо друг от друга, каждая из цепей мтДНК млекопитающих переписывается с образованием одной молекулы РНК, начинающейся в районе *ori H*. Помимо этих двух длинных молекул РНК, комплементарных H- и L-цепям, формируются и более короткие участки H-цепи, которые начинаются в той же точке и заканчиваются на 3'-конце гена 16S рРНК (рис.4). Таких коротких транскриптов в 10 раз больше, чем длинных. В результате созревания (процессинга) из них образуются 12S рРНК и 16S рРНК, участвующие в формировании митохондриальных рибосом, а также фенилаланиновая и валиновая тРНК. Из длинных транскриптов вырезаются остальные тРНК и образуются транслируемые мРНК, к 3'-концам которых присоединяются полиадениловые после-

довательности. 5'-концы этих мРНК не копируются, что необычно для эукариот. Сплайсинг (сращивания) не происходит, поскольку ни один из митохондриальных генов млекопитающих не содержит интронов.

Сюрпризы митохондриального генома

Несмотря на то, что в геномах митохондрий млекопитающих и дрожжей содержится приблизительно одинаковое количество генов, размеры дрожжевого генома в 4-5 раз больше — около 80 тыс. пар нуклеотидов. Хотя кодирующие последовательности мтДНК дрожжей высоко гомологичны соответствующим последовательностям у человека, дрожжевые мРНК дополнительно имеют 5'-лидерную и 3'-некодирующую области, как и большинство ядерных

мРНК. Ряд генов содержит еще и интроны. Так, в гене *box*, кодирующем цитохромоксидазу *b*, имеется два интрона. Из первичного РНК-транскрипта автокаталитически (без участия каких-либо белков) вырезается копия большей части первого интрона. Оставшаяся РНК служит матрицей для образования фермента *матуразы*, участвующей в *сплайсинге*. Часть ее аминокислотной последовательности закодирована в оставшихся копиях интронов. Матураза вырезает их, разрушая свою собственную мРНК, копии экзонов сшиваются, и образуется мРНК для цитохромоксидазы *b* (рис.5). Открытие такого феномена заставило пересмотреть представление об интронах, как о «ничего не кодирующих последовательностях».

При изучении экспрессии митохондриальных генов *Trypanosoma brucei* обнаружилось удивительное отклонение от одной из основных аксиом молекулярной биологии, гласящей, что последовательность нуклеотидов в мРНК в точности соответствует таковой в кодирующих участках ДНК. Оказалось, мРНК одной из субъединиц цитохром-*c*-оксидазы *редактируется*, т.е. после транскрипции изменяется ее первичная структура — вставляется четыре урацила. В результате образуется новая мРНК, служащая матрицей для синтеза дополнительной субъединицы фермента, последовательность аминокислот в которой не имеет ничего общего с последовательностью, кодируемой *нередктированной* мРНК (см. таблицу).

Происходит это за счет сдвига рамки считывания на число нуклеотидов, не кратное разме-

таблица

...ГУА ГАГ ААЦ ЦУТ ГУА...	— <i>нередктированная</i> мРНК;
вал глу асп лей вал...	— последовательность аминокислот;
↓ ↓ ↓ ↓	
...ГУА ГАУ УГУ АУА ЦЦУ...	— <i>редактированная</i> мРНК;
вал асп цис илей про...	— последовательность аминокислот.

ру триплета (в данном случае на четыре). Новая белковая субъединица, необходимая для работы фермента, образуется в митохондриях паразита только тогда, когда он попадает в организм холоднокровной мухи и нуждается в окислительном фосфорилировании для получения большого количества молекул АТФ. Если трипаносома живет в организме теплокровных млекопитающих, ей достаточно АТФ, образующейся в процессе гликолиза.

Впервые обнаруженное в митохондриях трипаносомы редактирование РНК широко распространено в хлоропластах и митохондриях высших растений. Найдено оно и в соматических клетках млекопитающих, например, в кишечном эпителии человека редактируется мРНК гена аполипопротеина.

Наибольший сюрприз ученым митохондрии преподнесли в 1979 г. До того времени считалось, что генетический код универсален и одни и те же триплеты кодируют одинаковые аминокислоты у бактерий, вирусов, грибов, растений и животных. Английский исследователь Беррел сопоставил структуру одного из митохондриальных генов теленка с последовательностью аминокислот в кодируемой этим геном субъединице цитохромоксидазы. Оказалось, что генетический код митохондрий крупного рогатого скота (как и человека) не просто отличается от универсального, он «идеален», т.е. подчиняется следующему правилу: «если два кодона имеют два одинаковых нуклеотида, а третьи нуклеотиды принадлежат к одному классу (пуриновых — А, Г, или пиримидиновых — У, Ц), то они кодируют одну и ту же аминокислоту». В универсальном коде есть два исключения из этого правила: триплет АУА кодирует изолейцин, а кодон АУГ — метионин, в то время как в идеальном коде митохондрий оба эти триплета кодируют метионин; триплет

УГГ кодирует лишь триптофан, а триплет УГА — стоп-кодон. В универсальном коде оба отклонения касаются принципиальных моментов синтеза белка: кодон АУГ — иницирующий, а стоп-кодон УГА останавливает синтез полипептида. Идеальный код присущ не всем описанным митохондриям, но ни у одной из них нет универсального кода. Можно сказать, что митохондрии говорят на разных языках, но никогда — на языке ядра.

Как уже говорилось, в митохондриальном геноме позвоночных есть 22 гена тРНК. Каким же образом такой неполный набор обслуживает все 60 кодонов для аминокислот (в идеальном коде из 64 триплетов четыре стоп-кодона, в универсальном — три)? Дело в том, что при синтезе белка в митохондриях упрощены кодон-антикодонные взаимодействия — для узнавания используется два из трех нуклеотидов антикодона. Таким образом, одна тРНК узнает все четыре представителя кодонового семейства, отличающиеся только третьим нуклеотидом. Например, лейциновая тРНК с антикодоном ГАУ встает на рибосоме напротив кодонов ЦУУ, ЦУЦ, ЦУА и ЦУГ, обеспечивая безошибочное включение лейцина в полипептидную цепь. Два других лейциновых кодона УУА и УУГ узнаются тРНК с антикодоном ААУ. В целом, восемь разных молекул тРНК узнают восемь семейств по четыре кодона в каждом, и 14 тРНК узнают разные пары кодонов, каждая из которых шифрует одну аминокислоту.

Важно, что ферменты аминоксил-тРНК-синтетазы, ответственные за присоединение аминокислот к соответствующим тРНК митохондрий, кодируются в ядре клетки и синтезируются на рибосомах эндоплазматической сети. Таким образом, у позвоночных животных все белковые компоненты митохондриального синтеза полипептидов зашифрованы в ядре. При этом

синтез белков в митохондриях не подавляется циклогексимидом, блокирующим работу эвкариотических рибосом, но чувствителен к антибиотикам эритромицину и хлорамфениколу, ингибирующим белковый синтез в бактериях. Этот факт служит одним из аргументов в пользу происхождения митохондрий из аэробных бактерий при симбиотическом образовании эвкариотических клеток [4].

Симбиотическая теория происхождения митохондрий

Гипотезу о происхождении митохондрий и растительных пластид из внутриклеточных бактерий-эндосимбионтов высказал Р.Альтман еще в 1890 г. За век бурного развития биохимии, цитологии, генетики и появившейся полвека назад молекулярной биологии гипотеза переросла в теорию, основанную на большом фактическом материале. Суть ее такова: с появлением фотосинтезирующих бактерий в атмосфере Земли накапливался кислород — побочный продукт их метаболизма. С ростом его концентрации усложнялась жизнь анаэробных гетеротрофов, и часть из них для получения энергии перешла от бескислородного брожения к окислительному фосфорилированию. Такие аэробные гетеротрофы могли с большим КПД, чем анаэробные бактерии, расщеплять органические вещества, образующиеся в результате фотосинтеза. Часть свободно живущих аэробов была захвачена анаэробами, но не «переварена», а сохранена в качестве энергетических станций, митохондрий. Не стоит рассматривать митохондрии как рабов, взятых в плен, чтобы снабжать молекулами АТФ не способные к дыханию клетки. Они скорее «существа», еще в протерозое нашедшие для себя и своего потомства лучшее из убежищ, где можно затрачивать наименьшие

усилия, не подвергаясь риску быть съеденными.

В пользу симбиотической теории говорят многочисленные факты:

- совпадают размеры и формы митохондрий и свободно живущих аэробных бактерий; те и другие содержат кольцевые молекулы ДНК, не связанные с гистонами (в отличие от линейных ядерных ДНК);

- по нуклеотидным последовательностям рибосомные и транспортные РНК митохондрий отличаются от ядерных, демонстрируя при этом удивительное сходство с аналогичными молекулами некоторых аэробных грамотрицательных эубактерий;

- митохондриальные РНК-полимеразы, хотя и кодируются в ядре клетки, ингибируются рифампицином, как и бактериальные, а эукариотические РНК-полимеразы нечувствительны к этому антибиотику;

- белковый синтез в митохондриях и бактериях подавляется одними и теми же антибиотиками, не влияющими на рибосомы эукариот;

- липидный состав внутренней мембраны митохондрий и бактериальной плазмалеммы сходен, но сильно отличается от такового наружной мембраны митохондрий, гомологичной другим мембранам эукариотических клеток;

- кристы, образуемые внутренней митохондриальной мембраной, являются эволюционными аналогами мезосомных мембран многих прокариот;

- до сих пор сохранились организмы, имитирующие промежуточные формы на пути к образованию митохондрий из бактерий (примитивная амеба *Pelomyxa* не имеет митохондрий, но всегда содержит эндосимбиотические бактерии).

Существует представление, что разные царства эукариот имели разных предков и эндосимбиоз бактерий возникал на разных этапах эволюции живых

организмов. Об этом же говорят отличия в строении митохондриальных геномов простейших, грибов, растений и высших животных. Но во всех случаях основная часть генов из промитохондрий попала в ядро, возможно, с помощью мобильных генетических элементов. При включении части генома одного из симбионтов в геном другого интеграция симбионтов становится необратимой.

Новый геном может создавать метаболические пути, приводящие к образованию полезных продуктов, которые не могут быть синтезированы ни одним из партнеров по отдельности. Так, синтез стероидных гормонов клетками коры надпочечников представляет собой сложную цепь реакций, часть которых происходит в митохондриях, а часть — в эндоплазматической сети [5]. Захватив гены промитохондрий, ядро получило возможность надежно контролировать функции симбионта. В ядре кодируются все белки и синтез липидов наружной мембраны митохондрий, большинство белков матрикса и внутренней мембраны органелл. Самое главное, что ядро кодирует ферменты репликации, транскрипции и трансляции мтДНК, контролируя тем самым рост и размножение митохондрий. Скорость роста партнеров по симбиозу должна быть приблизительно одинаковой. Если хозяин будет расти быстрее, то с каждым его поколением число симбионтов, приходящихся на одну особь, будет уменьшаться, и, в конце концов, появятся потомки, не имеющие митохондрий. Мы знаем, что в каждой клетке организма, размножающегося половым путем, содержится много митохондрий, реплицирующих свои ДНК в промежутке между делениями хозяина. Это служит гарантией того, что каждая из дочерних клеток получит по крайней мере одну копию генома митохондрии.

Цитоплазматическая наследственность

Помимо кодирования ключевых компонентов дыхательной цепи и собственного белоксинтезирующего аппарата, митохондриальный геном в отдельных случаях участвует в формировании некоторых морфологических и физиологических признаков. К таким признакам относятся характерные для ряда видов высших растений синдром NCS (non-chromosomal stripe, нехромосомно кодируемая пятнистость листьев) и цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС), приводящая к нарушению нормального развития пыльцы. Проявление обоих признаков обусловлено изменениями в структуре мтДНК. При ЦМС наблюдаются перестройки геномов митохондрий в результате рекомбинационных событий, ведущих к делециям, дупликациям, инверсиям или инсерциям определенных нуклеотидных последовательностей или целых генов. Такие изменения могут вызывать не только повреждения имеющихся генов, но и появление новых работающих генов.

Цитоплазматическая наследственность, в отличие от ядерной, не подчиняется законам Менделя. Это связано с тем, что у высших животных и растений гаметы от разных полов содержат несопоставимые количества митохондрий. Так, в яйцеклетке мыши имеется 90 тыс. митохондрий, а в сперматозоиде — лишь четыре. Очевидно, что в оплодотворенной яйцеклетке митохондрии преимущественно или только от женской особи, т.е. наследование всех митохондриальных генов материнское. Генетический анализ цитоплазматической наследственности затруднен из-за ядерно-цитоплазматических взаимодействий. В случае цитоплазматической мужской стерильности мутантный митохондриальный геном взаимодействует с определенными генами ядра, рецессивные аллели которых необходимы

для развития признака. Доминантные аллели этих генов как в гомо-, так и в гетерозиготном состоянии восстанавливают фертильность растений вне зависимости от состояния митохондриального генома.

Изучение геномов митохондрий, их эволюции, идущей по специфическим законам популяционной генетики, взаимоотношений между ядерными и митохондриальными генетическими системами, необходимо для понимания сложной иерархической организации эукариотической клетки и организма в целом.

С определенными мутациями в митохондриальной ДНК или

в ядерных генах, контролирующей работу митохондрий, связывают некоторые наследственные болезни и старение человека [6]. Накапливаются данные об участии дефектов мтДНК в канцерогенезе. Следовательно, митохондрии могут быть мишенью химиотерапии рака. Имеются факты о тесном взаимодействии ядерного и митохондриального геномов в развитии ряда патологий человека. Множественные делеции мтДНК обнаружены у больных с тяжелой мышечной слабостью, атаксией, глухотой, умственной отсталостью, наследующихся по аутосомно-доминантному типу. Установлен

половой диморфизм в клинических проявлениях ишемической болезни сердца, что скорее всего обусловлено материнским эффектом — цитоплазматической наследственностью. Развитие генной терапии внушает надежду на исправление дефектов в геномах митохондрий в обозримом будущем. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-04-48971.

Автор признателен аспиранту М.К.Иванову, создавшему рисунки к статье.

Литература

1. Янковский Н.К., Боринская С.А. Наша история, записанная в ДНК // Природа. 2001. №6. С.10—18.
2. Минченко А.Г., Дударева Н.А. Митохондриальный геном. Новосибирск, 1990.
3. Гвоздев В.А. // Сорос. образоват. журн. 1999. №10. С.11—17.
4. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М., 1983.
5. Скулачев В.П. // Сорос. образоват. журн. 1998. №8. С.2—7.
6. Игамбердиев А.У. // Сорос. образоват. журн. 2000. №1. С.32—36.

Космические исследования

Искусственный спутник Земли «Ikonos-2»

В конце 1999 г. на орбиту вышел научно-практический коммерческий спутник «Ikonos-2», принадлежащий американской корпорации «Space Imaging» (запуск «Ikonos-1» окончился неудачей). Аппарат массой 720 кг запущен с помощью ракеты-носителя «Athena-2» с космодрома Ванденберг (штат Калифорния). Его круговая околополярная орбита (высота 681 км, наклонение 98.1°, период 98 мин) синхронизова-

на с Солнцем. Спутник предназначен для построения и передачи цифровых изображений нашей планеты.

«Ikonos-2» снабжен панхроматическим и мультиспектральным датчиками с высоким разрешением (один и около четырех метров соответственно), что позволяет различать небольшие объекты (например, проселочные дороги и отдельно стоящие деревья) и составлять карты масштабом 1:10 000. Благодаря цифровой форме получаемых материалов данные дистанционного зондирования не нужно сканировать, а фотоизображения — дополнительно обрабатывать.

Все это дает возможность использовать информацию для мониторинга окружающей среды, геологических и геофизических исследований, прогноза урожая, для нужд транспорта и других целей, не прибегая к аэрофотосъемке.

В 2000 г. «Ikonos-2» сфотографировал около 24 млн км² земной поверхности. Получено около 200 тыс. снимков, в том числе подробнейшие изображения египетских пирамид, Голливуда, Мекки (Саудовская Аравия) и т.д.

С 2001 г. компания-владелец спутника ведет продажу полученных материалов.

<http://newswire.spaceimaging.com>

Космическая

Уравнения для... закона Менделеева

Н.С.Имянитов

Любой закон физики, будь то, например, закон Ньютона, Кулона или Фарадея, как и положено в точных науках, формулируется в виде уравнений. Есть только одно исключение: в химии периодический закон Д.И.Менделеева задается таблицей.

А ведь еще И.Кант считал, что в каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики. Правда, химия хороша и как «искусство соединять и разлагать вещества», как писали в учебниках химии XIX в. И не известно еще, что лучше: наука или искусство — дело вкуса. С другой стороны, по мере накопления знаний многое из того, что было искусством, становится наукой или основанной на ней технологией. Так происходит не только в химии, но и в медицине, астрономии, метеорологии (прогнозе погоды), поиске полезных ископаемых, приготовлении пищи, получении изображений (фото- и видеотехнике).

Интересные соображения по поводу описания периодического закона уравнением были высказаны самим Менделеевым. С тех пор прошло более 100 лет, а математически выразить закон так и не удалось. Успешнее оказалось решение смежной задачи: разработки графических вариантов периодического закона. Интенсивная работа химической мысли в этом направлении описана в замечательной книге Е.Мазурса, вышедшей в США [1].

Графические отображения периодического закона

В упомянутой книге собраны около 700 (!) описанных в научной литературе вариантов периодического закона, они тщательно сопоставлены, некоторые признаны близкими или идентич-



Наум Соломонович Имянитов, доктор химических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института нефтехимических процессов. Круг научных интересов — общие проблемы химической реакционной способности, гомогенный катализ, нефтехимия, некоторые вопросы философии.

ными. В результате получилось 146 типов — число тоже не малое! Кроме привычных табличных изображений предложены различные кривые: концентрические окружности, спирали, лемнискаты (имеют вид восьмерки), комбинации этих кривых, геометрические поверхности. Разработаны как плоские, так и объемные варианты.

Не нужно думать, что такое разнообразие просто результат игры ума: периодический закон настолько многообразен и всеобъемлющ, его роль в человеческом знании настолько фундаментальна, что многократные попытки дать наиболее универсальное его описание представляются естественными. Более того, главное в этих попытках — не дать описание, а *понять* один из основных, главных законов природы.

Классическая, «короткая» форма таблицы, идущая прямо от Менделеева, в современном вариан-

	I						VII	VIII					
	а	б	а	б	а	б		а	б	б			
1	1H ВОДОРОД							2He ГЕЛИЙ					
2	3Li ЛИТИЙ	4Be БЕРИЛЛИЙ	5B БОР	6C УГЛЕРОД	7N АЗОТ	8O КИСЛОРОД	9F ФТОР	10Ne НЕОН					
3	11Na НАТРИЙ	12Mg МАГНИЙ	13Al АЛЮМИНИЙ	14Si КРЕМНИЙ	15P ФОСФОР	16S СЕРА	17Cl ХЛОР	18Ar АРГОН					
4	19K КАЛИЙ	20Ca КАЛЬЦИЙ	21Sc СКАНДИЙ	22Ti ТИТАН	23V ВАНАДИЙ	24Cr ХРОМ	25Mn МАРГАНЕЦ	26Fe ЖЕЛЕЗО	27Co КОБАЛЬТ	28Ni НИКЕЛЬ			
	29Cu МЕДЬ	30Zn ЦИНК	31Ga ГАЛЛИЙ	32Ge ГЕРМАНИЙ	33As МЫШЬЯК	34Se СЕЛЕН	35Br БРОМ	36Kr КРИПТОН					
5	37Rb РУБИДИЙ	38Sr СТРОНЦИЙ	39Y ИТРИЙ	40Zr ЦИРКОНИЙ	41Nb НИОБИЙ	42Mo МОЛИБДЕН	43Tc ТЕХНЕЦИЙ	44Ru РУТЕНИЙ	45Rh РОДИЙ	46Pd ПАЛЛАДИЙ			
	47Ag СЕРЕБРО	48Cd КАДМИЙ	49In ИНДИЙ	50Sn ОЛОВО	51Sb СУРЬМА	52Te ТЕЛЛУР	53I ЙОД	54Xe КСЕНОН					
6	55Cs ЦЕЗИЙ	56Ba БАРИЙ	57La* ЛАНТАН	72Hf ГАФНИЙ	73Ta ТАНТАЛ	74W ВОЛЬФРАМ	75Re РЕНИЙ	76Os ОСМИЙ	77Ir ИРИДИЙ	78Pt ПЛАТИНА			
	79Au ЗОЛОТО	80Hg РУТУТЬ	81Tl ТАЛЛИЙ	82Pb СВИНЕЦ	83Bi ВИСМУТ	84Po ПОЛОНИЙ	85At АСТАТ	86Rn РАДОН					
7	87Fr ФРАНЦИЙ	88Ra РАДИЙ	89Ac** АКТИНИЙ	104Rf РЕЗЕРФОРДИЙ	105Db ДУБИНИЙ	106Sg СИБОГИЙ	107Bh БОРИЙ	108Hs ГАССИЙ		109Mt МЕЙТНЕРИЙ			
* ЛАНТАНОИДЫ													
58Ce ЦЕРИЙ	59Pr ПРАЗЕОДИМ	60Nd НЕОДИМ	61Pm ПРОМЕТИЙ	62Sm САМАРИЙ	63Eu ЕВРОПИЙ	64Gd ГАДОЛИНИЙ	65Tb ТЕРБИЙ	66Dy ДИСПРОЗИЙ	67Ho ГОЛЬМИЙ	68Er ЭРБИЙ	69Tm ТУЛИЙ	70Yb ИТТЕРБИЙ	71Lu ЛЮТЕЦИЙ
** АКТИНОИДЫ													
90Th ТОРИЙ	91Pa ПРОТАКТИНИЙ	92U УРАН	93Np НЕПТУНИЙ	94Pu ПЛУТОНИЙ	95Am АМЕРИЦИЙ	96Cm КЮРИЙ	97Bk БЕРКЛИЙ	98Cf КАЛИФОРНИЙ	99Es ЭЙНШТЕЙНИЙ	100Fm ФЕРМИЙ	101Md МЕНДЕЛЕВИЙ	102(No) (НОБЕЛИЙ)	103(Lr) (ЛОУРЕНСИЙ)

Рис.1. «Короткая» форма таблицы Менделеева. Вопрос о положении La (57) и Ac (89) окончательно не решен: на их место с серьезными основаниями претендуют Lu (71) и Lr (103).

те несколько изменена (рис.1). В вертикальных столбцах — группах — собраны элементы со сходными свойствами. Характерно деление групп на подгруппы. Так, в главной подгруппе (VII а) VII группы находятся металлоиды (галогены: фтор, хлор, бром, иод, астат), в побочной (VII б) — переходные металлы (марганец, технеций, рений). Горизонтально располагаются периоды, которые, начиная с четвертого, делятся на два ряда. Вдоль них слева направо в главных подгруппах происходит постепенное изменение свойств элементов от типичных металлов (щелочных) до типичных неметаллов (галогенов).

В настоящее время наибольшее распространение получила «длинная» форма таблицы (рис.2). В ее последних редакциях деление групп на подгруппы отсутствует: марганец, технеций и рений по-прежнему образуют 7-ю группу, а галогены перемещены в 17-ю. Достоинство «длинной» таблицы — четкое разделение металлов и неметаллов, закономерный переход между ними при движении вдоль по периоду. Все это достигается благодаря строгому размежеванию элементов по ха-

рактеру внешних электронных оболочек их атомов, который, как известно, однозначно определяет химические свойства. Элементы с одинаковыми типами электронных оболочек (*s*, *p*, *d* и *f*) даны на фоне одного цвета.

Часто «длинную» форму таблицы делают еще длиннее, включая лантаноиды и актиноиды из «приложения», но не меняя номеров групп.

Для физиков больше подходит «лестничный» вариант (рис.3), его еще называют таблицей Бора и Томсена. В ней длина периода (периоды расположены вертикально) естественным образом увеличивается по мере возрастания числа элементов в нем. Выделены группы элементов с одинаковыми типами электронных оболочек. Линиями показана связь между главными и побочными подгруппами, здесь они тоже «уравнены в правах». Однако элементы одной подгруппы располагаются не на прямой, что неудобно.

Много внимания химики (и физики) уделяли изображению периодического закона в геометрической форме. Ведь кривые можно понимать как более высокий этап в формулировке закона: мно-

Периоды П Е Р И О Д Ы	1	1 H															2 He		
	2	3 Li	4 Be									5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
	3	11 Na	12 Mg									13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
	4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
	5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
	6	55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
	7	87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Группы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
		IA	IIA	III B	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B			IB	IIB	III A	IV A	VA	VI A	VII A	VIII A

Лантаноиды	*	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb
	*	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

Рис.2. «Длинная» форма периодической таблицы.

гие кривые описываются уравнениями! Немалую роль в построении геометрических конструкций играет и представление о красоте как признаке правильности, совершенства (А.Эйнштейн, принцип внутреннего соответствия).

Одно из таких изображений — периодическая таблица в виде концентрических окружностей: каждая соответствует периоду, а элементы подгрупп находятся на радиусах (рис.4). От этой формы легко перейти к еще более красивой —

спирали, а совместив спираль с лемнискатой, можно обеспечить разделение главных и побочных подгрупп (см. рис.4).

Понятно стремление увеличить информативность изображений периодического закона путем перехода от плоскостного (двухмерного) представления к объемному (трехмерному). И опять же, это должно усилить комплекс красота—совершенство—правильность. Изображение «длинной» формы таблицы (рис.2) в трехмерном варианте (рис.5)

Рис.3. «Лестничный» вариант периодической таблицы, предложенный Ю.Томсеном (1895) и усовершенствованный Н.Бором (1921).

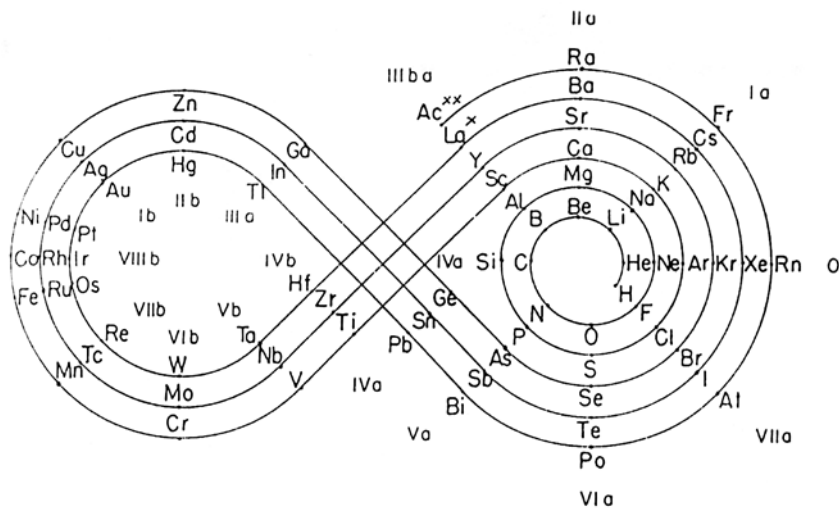
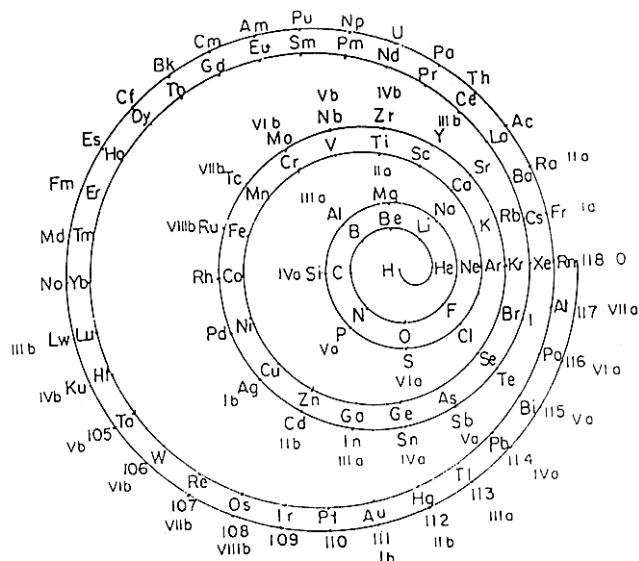
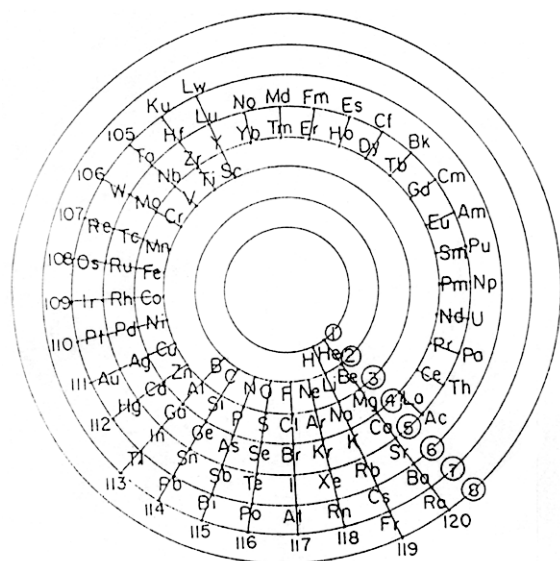
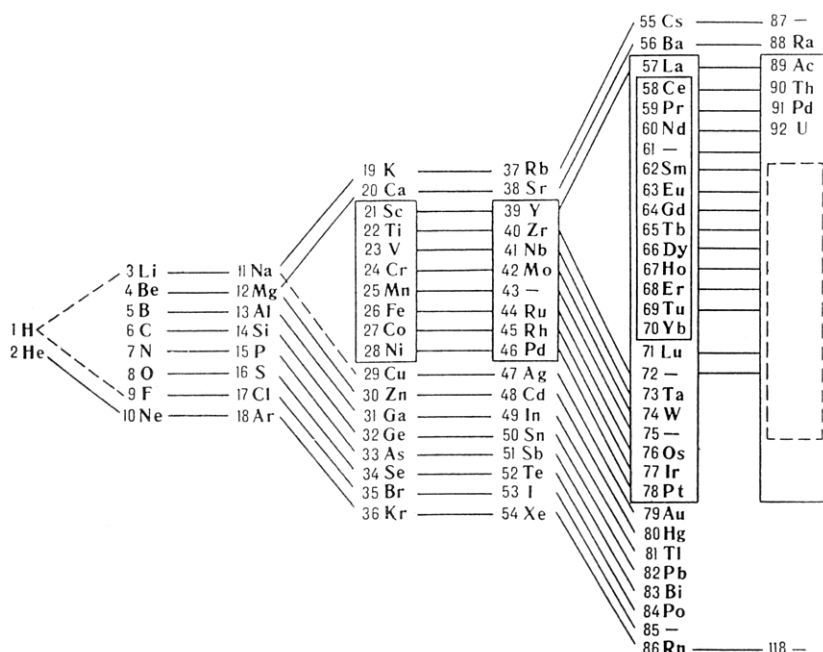


Рис.4. Периодические зависимости в виде концентрических окружностей, спирали и лемнискаты.

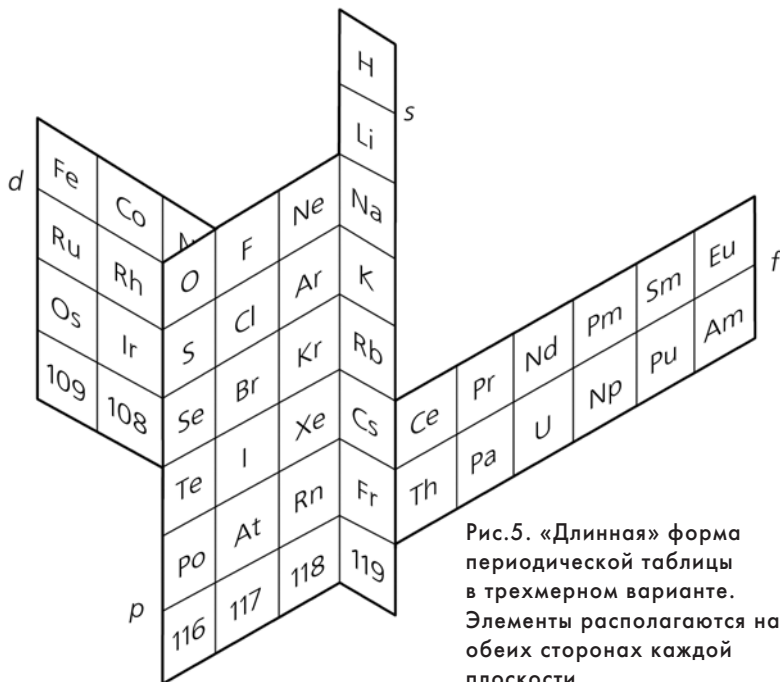


Рис.5. «Длинная» форма периодической таблицы в трехмерном варианте. Элементы располагаются на обеих сторонах каждой плоскости.

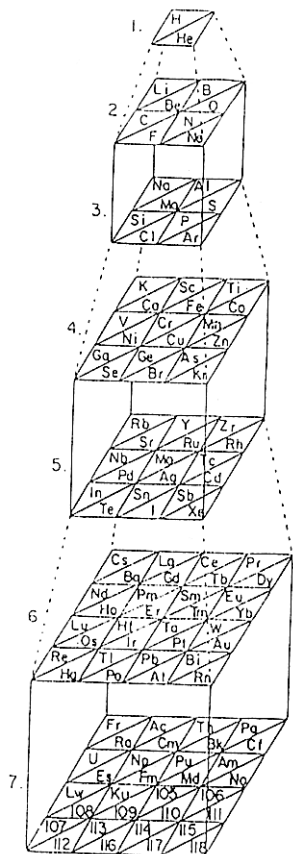


Рис.6. Трехмерное изображение таблицы. Здесь периоды расположены на разных уровнях.

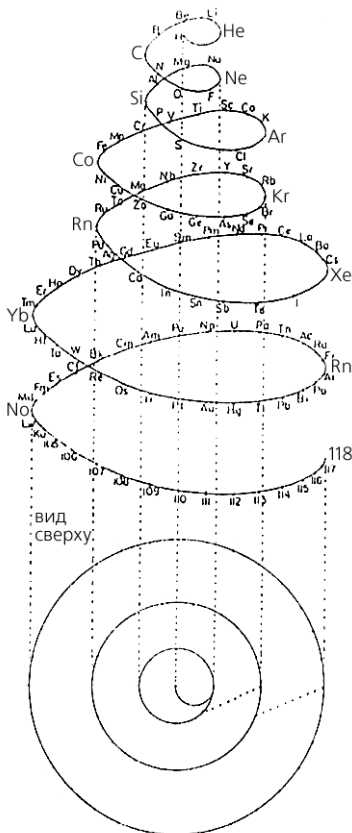


Рис.7. Периодическая зависимость в виде трехмерной спирали.

дает возможность с максимальной полнотой разделить элементы по характеру внешних электронных оболочек их атомов. Каждому из четырех типов элементов (*s*, *p*, *d* и *f*) удалось предоставить собственную плоскость.

А можно расположить периоды на разных по высоте уровнях (рис.6) или перенести с плоскости в пространство концентрические окружности и спираль (рис.7).

В разработанных вариантах внимание сосредоточено на разных существенных сторонах периодического закона, но опыт более чем столетних поисков показал, что нет (и не может быть!) универсального отображения. Только приняв во внимание многие варианты, можно получить достаточно полное представление о периодическом законе.

На первый взгляд этот вывод кажется странным, но ведь понятно, что только рассмотрение с разных сторон дает полноценное представление о предмете или явлении. Как тут не вспомнить арабскую притчу о четырех любопытных, которые хотели узнать, что такое слон. В стойле было очень темно, и, дотронувшись до хобота, первый решил, что слон напоминает шланг. Второй ощупал ухо и пришел к выводу, что это скорее опахало, третьему попала под руку нога, которую он мог сравнить только с живой колонной, а четвертый, положивший руку на спину, был уверен, что слон напоминает собою трон. Только обобщив все эти «результаты» (творчески!), можно понять (не сразу и не полностью!), что такое слон. Аналогия с наукой и ее методами на удивление глубокая!

Конструирование уравнений

Казалось бы, приведенные уже описания в виде кривых позволяют вывести уравнение периодического закона. Однако эти кривые (многие из них задаются уравнениями) имеют сугу-

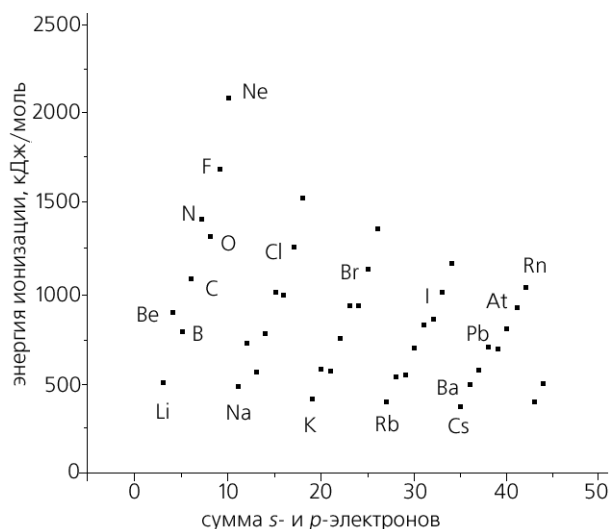


Рис. 8. Зависимость энергии ионизации атомов от общего числа s - и p -электронов.

бо *качественный*, приблизительный характер. Их задача — наглядно расположить элементы, показать их сходства и отличия. Если попытаться *количественно* выразить какое-нибудь конкретное свойство элементов или их соединений при помощи таких кривых, выяснится, что они не годятся даже в качестве отправного пункта.

Возьмем для примера энергию ионизации — важнейшее свойство атома, характеризующее его способность окисляться, приобретать положительный заряд. Двинемся вдоль по периоду, например по *второму*, от лития к неону, глядя на любой из приведенных рисунков. У лития заряд ядра самый маленький, и электрон легко от него можно оторвать, энергия ионизации поэтому тоже мала (рис. 8). По мере дальнейшего продвижения, вплоть до фтора, заряд ядра и число электронов постепенно увеличиваются. Одновременно с этим уменьшается радиус атома и растет энергия ионизации, что химически выражается в снижении способности терять электроны (приобретать положительный заряд) и увеличении способности присоединять их (приобретать отрицательный заряд). Так, шаг за шагом, мы постепенно перешли от щелочного металла лития к типичному металлоиду фтору.

При переходе от фтора к неону перемещение перестает быть однообразным: энергия ионизации возрастает и достигает максимума, но металлоидные свойства у этого инертного газа совершенно отсутствуют! Дело в том, что электронная оболочка, на которой ранее помещались новые электроны, заполнилась. Поэтому неон не склонен ни к их присоединению, ни к отщеплению — это нереакционноспособный, благородный газ.

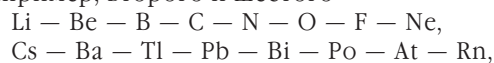
У натрия, следующего за неоном, новому электрону приходится помещаться на новую оболочку. Но она находится дальше от ядра, и электрон

притягивается к нему много слабее, чем у неона. Поэтому энергия ионизации натрия оказывается маленькой, почти такой же, как у лития, с которого начинается второй период.

Натрий — первый элемент третьего периода. Далее, от натрия к аргону, все происходит сходно со вторым периодом. Дальше — то же самое, если забыть об «удлинении пути» и дополнительных отклонениях, вызванных появлением сначала переходных металлов, затем лантаноидов и актиноидов. Но не будем на это отвлекаться.

Итак, *монотонный характер изменения свойств регулярно прерывается при переходе от одного периода к другому, возникают разрывы и скачки. Именно в этом и заключается смысл периодического закона. Именно это должно отражать уравнение.*

Рассмотренные значения энергий ионизации (см. рис. 8) увеличиваются для каждого периода, например, второго и шестого



но остаются постоянными для I группы



а для VI



постепенно уменьшаются. Для всех периодов и групп имеются собственные зависимости. Такими зависимостями для самых разных свойств элементов и их соединений полны научные статьи и справочники. Но эти кривые и соответствующие им уравнения нельзя считать отображениями периодического закона: в них нет разрывов и скачков, нет никакой периодичности! Они показывают изменения в отдельных, сравнительно небольших, «коллективах» элементов или их соединений.

Попробуем все же получить уравнение, которое описывает закон не по частям, а весь сразу и дает график с разрывами и скачками. За основу искомой функции возьмем такую взаимосвязь: зависимая переменная (y) равна дробной части независимой переменной (x):

$$x: 0.0 \ 0.1 \ 0.2 \dots 0.5 \dots 1.0 \ 1.1 \ 1.2 \dots 1.5 \dots 2.0 \ 2.1 \ 2.2 \dots 2.5 \dots 3.0$$

$$y: 0.0 \ 0.1 \ 0.2 \dots 0.5 \dots 0.0 \ 0.1 \ 0.2 \dots 0.5 \dots 0.0 \ 0.1 \ 0.2 \dots 0.5 \dots 0.0.$$

Уравнение этой функции $y = \{x\}$. Ее графики представляют собой набор одинаковых параллельных прямолинейных отрезков (рис. 9).

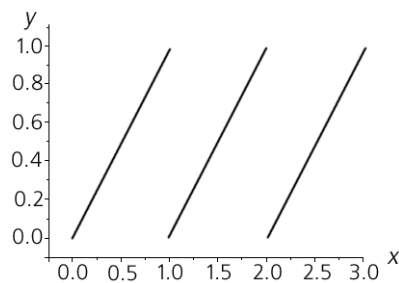


Рис. 9. График функции $y = \{x\}$.

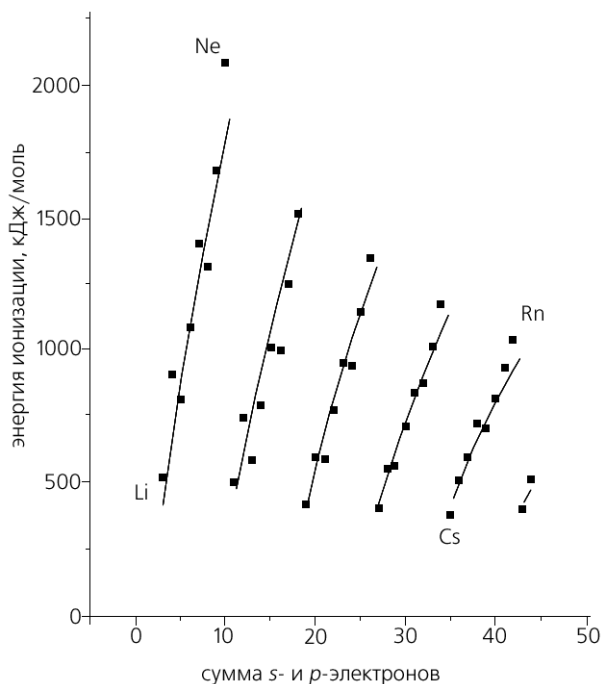


Рис. 10. Зависимости для энергий ионизации элементов пяти периодов, построенные на основе уравнения

$$y = ae^{bx} \left\{ \frac{x-3}{8} \right\} + cx + d.$$

Приведенная формально-математическая операция отбрасывания целочисленной части независимой переменной имеет *ясный физико-химический смысл*: она соответствует скачкообразному падению энергии ионизации при вынужденном поступлении электрона на более удаленную оболочку.

Однако применить эту функцию для описания энергий ионизации элементов не удастся. И это можно понять: линии графика, построенного на основе уравнения $y = \{x\}$, в точности повторяют одна другую, а этого нет (и не может быть!) у элементов. От цезия до радона изменение энергий ионизации много меньше, чем от лития до неона (см. рис.8).

Обычно такие изменения (например, для амплитуды колебаний) описывают введением множителя e^{bx} . Во многих случаях, как показали наши расчеты, годится и степенная функция x^b . Еще оказалась полезной корректировка по вертикальной оси путем добавления прямолинейной зависимости $sx + d$.

Пропустив подробности вывода, посмотрим на результат [2–5]:

$$y = ae^{bx} \left\{ \frac{x-3}{8} \right\} + cx + d,$$

где y — свойство элемента или его соединения, x — заряд ядра (порядковый номер в таблице Мен-

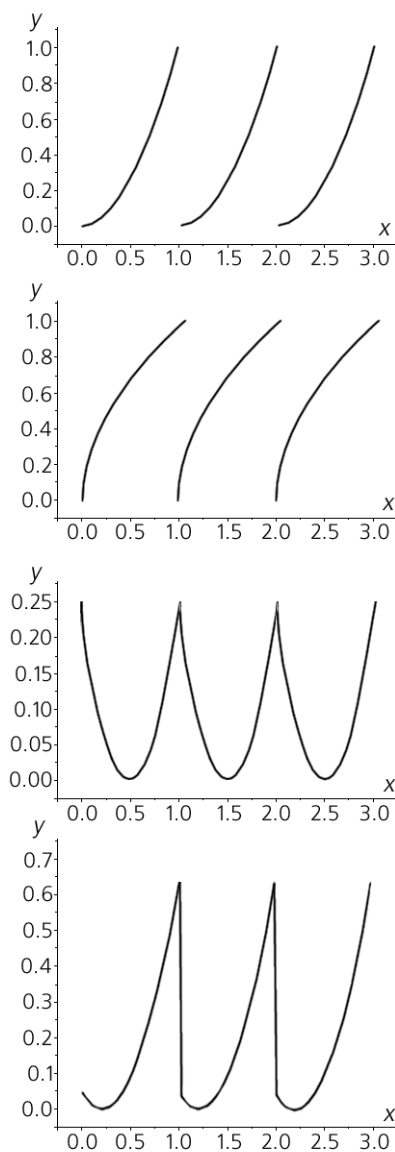


Рис. 11. Графики функций (сверху вниз): $y = \{x\}^2$, $y = \{x\}^{0.5}$, $y = |\{x\} - 0.5|^2$ и $y = |\{x\} - 0.2|^2$.

делеева) или, лучше, число электронов определенного типа (см. рис.2, 5).

Результат получился на первый взгляд страшноватый, особенно для людей, сложившихся в докомпьютерную эпоху. Но сейчас, когда по телевизору ежедневно показывают компьютерную графику, выведенную на основе несравнимо более сложных уравнений, полученное выражение не особенно пугает. Для работы с приведенным уравнением даже не нужно составлять специальную программу — годится стандартная.

С помощью компьютера школьник старших классов найдет коэффициенты a, b, c, d и построит соответствующие графики за 10 минут, макси-

мум за час, причем основное время уйдет на введение данных, так как продолжительность расчета составляет доли секунды. Так же легко провести вычисления по полученным уравнениям.

Но вернемся к энергиям ионизации атомов и посмотрим, как эти энергии описываются предлагаемым уравнением. Для каждого периода на графике имеется отдельная кривая, на которую неплохо ложатся соответствующие точки (рис.10). В науке такое соответствие, конечно, оценивается не на глаз, а численно — корреляционным отношением. Так вот, в данном случае оно равно 0.96. А если бы все точки безупречно легли на кривые, эта величина составила бы 1.00.

Очень важно, что приведенным уравнением можно охарактеризовать многие свойства элементов и их соединений, причем нужно иметь в виду, что если количество элементов просто велико, то количество соединений — огромно. Однако при переходе от одного свойства к другому уравнение остается прежним, меняются только численные значения коэффициентов a , b , c и d !

Существенно, что функциями предложенного типа можно описать не только периодические прямолинейные зависимости. Применяв такой же прием, можно кривую любого вида сделать периодической [5], наподобие сконструированных уравнений: $y = \{x\}^2$, $y = \{x\}^{0.5}$, $y = |\{x\} - 0.5|^2$, $y = |\{x\} - 0.2|^2$ (рис. 11).

Для описания периодических зависимостей, кроме представленных здесь, естественно, можно применить и тригонометрические функции [2—

4]. Они менее универсальны, но в некоторых случаях дают лучшие приближения.

Однако, пожалуй, выведенные уравнения еще нельзя считать окончательными математическими выражениями периодического закона. Эти уравнения носят корреляционный (т.е. эмпирический, осложненный случайными факторами, приблизительный) характер. Правда, существует мнение (наполовину шутка), что если бы к моменту вывода общепризнанных законов точность измерений была бы столь же высокой, как сейчас, то все имеющиеся в науке законы считались бы лишь корреляциями. Ведь даже в самом тонком эксперименте нельзя исключить все приводящие к погрешностям факторы и добиться безупречного соответствия полученных данных уравнениям.

В заключение не вредно посмотреть на проблему шире, с философской, диалектической точки зрения. Под диалектикой будем понимать не классическую диалектику Гегеля и не марксистско-ленинское «единственно верное всепобеждающее учение», а то «разумное и вечное», что из диалектики выкристаллизовывается и теперь развивается естественным образом, без диктата политики. Так вот, разрывы и скачки характерны не только для периодического закона в химии, а для любого более или менее сложного развития. Это утверждает закон диалектики о переходе количественных изменений в качественные. А законы философии носят всеобщий характер. Так что выведенные уравнения могут найти применение и за пределами химии, во многих областях науки и другой человеческой деятельности. ■

Литература

1. Mazurs E.G. Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years. 2nd ed. Alabama, 1974.
2. Имянитов Н.С. // Журн. общ. химии. 1999. Т.69. Вып.4. С. 530—537.
3. Имянитов Н.С. // Журн. орган. химии. 2001. Т.37. Вып.8. С. 1254—1262.
4. Имянитов Н.С. // Координац. химия. 2001. Т.27. №11. С. 873—880.
5. Имянитов Н.С. // Координац. химия. 2002. Т.28 (в печати).

«ДЖОИДЕС Резолюшн»: 187-й и 188-й рейсы

Научные сообщения

И.А.Басов,

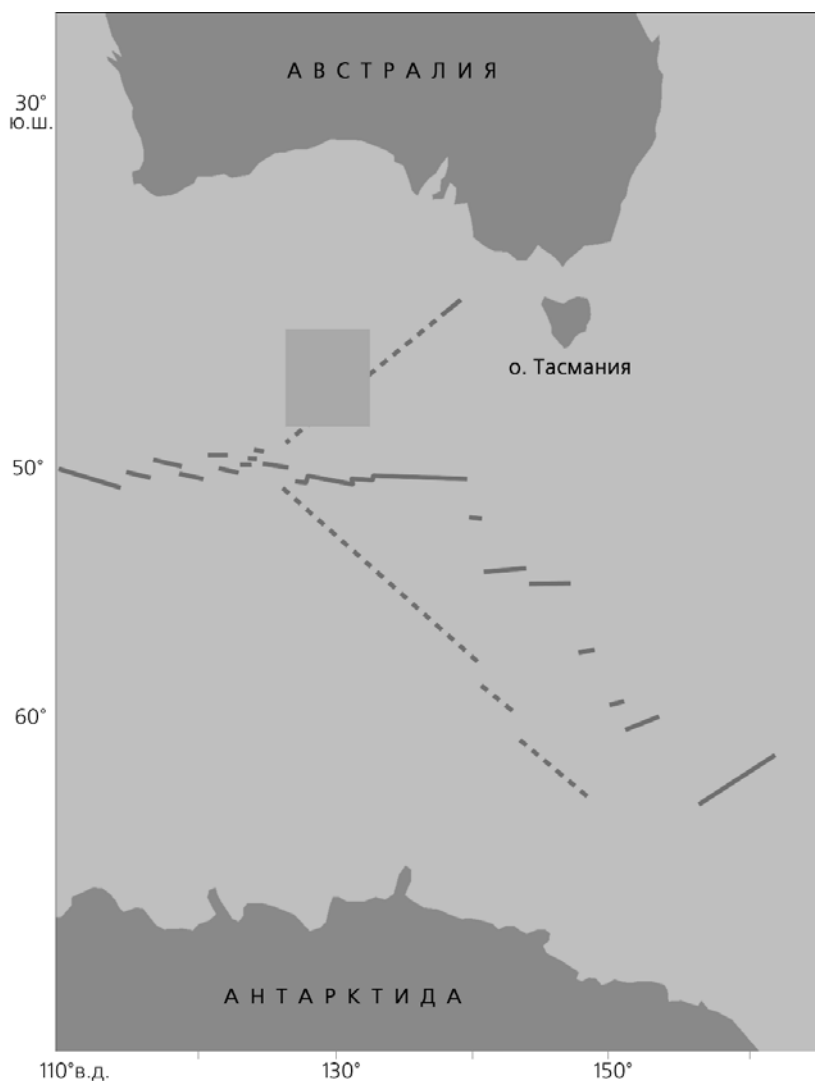
доктор геолого-минералогических наук

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН
Москва

Бурение на границе мантийных провинций

Обнаруженная в последние годы неоднородность базальтовых лав в различных сегментах срединно-океанских хребтов свидетельствует о разном составе мантийных источников. Изучение областей, пограничных между геохимическими провинциями, становится актуальным, поскольку, с одной стороны, это позволяет выяснить состав и физические характеристики верхней мантии, а с другой — понять происходящие в ней процессы.

Одна из таких резко выраженных границ находится в районе Центрально-Индийского срединно-океанского хребта между Австралией и Антарктидой, где она совпадает с так называемой зоной Австралийско-Антарктического несогласия. Это — один из самых глубоководных (4–5 км) районов глобальной системы срединно-океанских хребтов, что свидетельствует о существовании здесь необычно холодной мантии и соответственно тонкой коры. Проведенные геологические исследования показали, что изотопный состав ряда элементов (Sr, Nd, Pb) к западу и востоку от пограничной зоны существенно различается, маркируя соприкосновение здесь двух различных мантийных провинций



Район бурения в 187-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» (показан прямоугольником). Ломаная линия — положение Центрально-Индийского срединно-океанского хребта, пунктир — предполагаемый след изотопной границы между Тихоокеанской и Индоокеанской мантийными провинциями, мигрирующей в западном направлении со скоростью 40 мм/год.

© И.А.Басов

с разными геохимическими характеристиками: Индоокеанской и Тихоокеанской. Ширина пограничной зоны в пределах Центрально-Индийского хребта, где изотопный состав резко меняется, составляет 20–30 км, граница между этими изотопными провинциями мигрировала в западном направлении по крайней мере в течение последних 4 млн лет. Лавы с переходными геохимическими характеристиками встречаются на расстоянии до 10–50 км по обе стороны от нее.

Изучение этой части Центрально-Индийского хребта являлось основной целью 187-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн», который проводился на рубеже 1999–2000 гг. Исследования в рейсе возглавляли Д.М.Кристи (Орегонский университет, США) и Р.Б.Педерсен (Геологический институт университета г.Бергена, Норвегия). Научным представителем Программы океанского бурения был Д.Дж.Миллер [1].

В рейсе предстояло провести детальное бурение пограничной зоны между провинциями, чтобы впоследствии изучить геохимические (прежде всего изотопные) характеристики полученных базальтов и их динамики в пространстве и времени. Поэтому некоторые анализы проводились на борту судна непосредственно после получения керна, и в зависимости от результатов дальнейшая программа бурения в рейсе корректировалась. Мантийный источник определяли, измеряя соотношение Zr и Ba в вулканическом стекле, которое, как оказалось, достаточно хорошо различается в Индоокеанской и Тихоокеанской провинциях. В рейсе было пробурено 23 скважины в 13 точках (1152–1164), расположенных на глубинах в среднем около 5 км.

В каждой из скважин планировалось пройти базальты в пределах хребта на глубину не менее 50 м. Однако этому часто мешали неблагоприятные гео-

логические условия (отсутствие осадков, широкое распространение осыпей и т.п.). Тем не менее был получен весьма представительный материал, который будет детально исследован в береговых лабораториях.

Петрологические и геохимические работы, проведенные непосредственно в рейсе, позволили участникам рейса сделать предварительные выводы.

Полученные образцы базальтов указывают на присутствие здесь пород, характеризующих три типа верхней мантии: индоокеанский, тихоокеанский и переходный тихоокеанский.

К востоку от зоны Австралийско-Антарктического несогласия породы, соответствующие индоокеанскому типу верхней мантии, отсутствуют.

Породы, отвечающие тихоокеанскому и особенно переходному тихоокеанскому типу верхней мантии, в изученном сегменте срединно-океанского хребта распространены в пределах всей зоны Австралийско-Антарктического несогласия.

Приблизительно 28–14 млн лет назад породы, относящиеся к индоокеанскому и тихоокеанскому типам верхнемантийного источника, в районе к востоку от зоны несогласия чередовались между собой с периодичностью в несколько миллионов лет.

Залив Прюдс — ключ к истории оледенения Антарктики

Антарктический материк с его мощным ледовым щитом и окружающим океаном — важнейший фактор формирования климата планеты и глобальной океанской циркуляции. Опоясывающее Антарктиду Циркум-Антарктическое течение обуславливает термическую изоляцию континента и резкий широтный температурный градиент, вследствие чего в Южном полушарии возникает интенсивная атмосферная и океанская циркуляция. Широкое рас-

пространение морских льдов вокруг Антарктиды способствует формированию антарктической придонной водной массы, заполняющей большую глубокую часть Мирового океана и обеспечивающей его вентиляцию и снабжение океанской биоты питательными элементами. Считается, что колебания объема ледового щита в ответ на климатические флюктуации были ответственны за резкие изменения уровня океана в геологическом прошлом.

Многолетние исследования на материке и в Южном океане показали, что в мезозойское время и в начале кайнозоя климат Антарктиды был намного теплее сегодняшнего и она была покрыта богатой растительностью, что отразилось, в частности, в формировании залежей угля в меловой период.

В рейсах Проекта глубоководного бурения и Программы океанского бурения, проводившихся здесь ранее, установлено, что оледенение Антарктиды началось во второй половине палеогена и было особенно интенсивным в кайнозой (миоцене), когда ледовый щит, до этого существовавший в ее западной части, распространился на восточную. Неясно, однако, время начала первого крупномасштабного оледенения на континенте, которое дало толчок всей истории формирования его мощного ледового щита. Слабо изучены также короткопериодные климатические флюктуации, отражавшиеся на формировании льдов и запечатленные в морских осадочных разрезах вблизи Антарктиды.

Один из районов, где можно получить материалы об этих и других аспектах оледенения, — залив Прюдс в Восточной Антарктиде, который стал объектом исследований в 188-м рейсе бурового судна «ДЖОИДЕС Резолюшн» в начале 2000 г. Им руководили А.К.Купер из отдела геологических и экологических наук Стэнфордского университета (США) и Ф.Е.О'Брайен из от-

дела нефтяных и морских исследований Геологической службы Австралии, Программу океанского бурения представлял К.Рихтер [2].

Выбор этого района в качестве объекта бурения был обусловлен несколькими причинами. Во-первых, залив и покрывающий его шельфовый лед завершают огромную водосборную систему из множества крупных ледников, которая начинается в районе подледных гор Гамбурцева приблизительно на 80° ю.ш., где, как полагают, началось первое оледенение. Во-вторых, это одно из немногих мест в Антарктиде, где имеются выходы коренных пород на поверхность — их можно непосредственно сравнить с керном скважин глубоководного бурения. В-третьих, в открытой части залива при сейсмических исследованиях выявлено вытянутое в широтном направлении тело (так называемый дрейф Уайлд), образовавшееся, вероятно, при накоплении осадков под влиянием Циркум-Антарктического течения.

В рейсе было пробурено семь скважин в трех точках (1165—1167), расположенных вдоль профиля через шельф, континентальный склон и подножие склона на глубинах соответственно 3538, 475 и 1640 м.

Наиболее интересны следующие предварительные результаты изучения непосредственно на борту полученного керна:

Разрез скважины 1166 мощностью 381.3 м, пробуренной на шельфе, демонстрирует, что условия в этом районе изменялись от умеренно теплых в меловое время до переходных к более холодным ледниковым в позднем



Положение скважин, пробуренных в 188-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» (залитые кружки с номерами).

эоцене — раннем олигоцене, затем морским ледниковым в позднем олигоцене—плиоцене и, наконец, к существующим в настоящее время подледным условиям.

В разрезе скважины 1167 мощностью 447.5 м, заложенной в наиболее удаленной части конуса выноса упомянутой выше водосборной системы, обнаружена ранее неизвестная крупномасштабная цикличность (слои от 20 до 200 м и более) в распределении магнитной восприимчивости осадков. Пока она не объяснима, но связана скорее всего с изменениями в водосборе в позднелиоценовое—плейстоценовое время. Распространение в керне материала ледового сноса свидетельствует об изменениях интенсивности его поступления в периоды относительных потеплений и похолоданий и различиях в источниках сноса.

Весьма информативным оказался разрез скважины 1165

в пределах дрейфа Уайлд, где было достигнуто максимальное проникновение в осадки (999.1 м). Некоторые интервалы разреза представлены циклично переслаивающимися биогенными и терригенными (светлыми и темными) осадками, периодичность чередования которых, как показали расчеты, соответствует различным циклам Миланковича (100, 41, 23 и 19 тыс. лет). Вариации в размерности терригенного материала и темпах осадконакопления в керне отражают изменения в масштабах транспортировки этих осадков в связи с климатическими флюктуациями. Сравнение разреза с другими, полученными ранее вокруг Антарктиды, позволит с большей детальностью восстановить как эволюцию ледового щита, так и историю зарождения и развития Циркум-Антарктического течения. ■

Литература

1. Christie D.M., Pedersen R.B., Miller D.J. et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2001. V.187.
2. Cooper A.K., O'Brien Ph.E., Richter C. et al. // Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. 2001. V.188.

«Нобелиана» Григория Ландсберга и Леонида Мандельштама

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

Как отмечалось ранее [1], только безвременная смерть выдающегося физика-экспериментатора Петра Николаевича Лебедева в 1912 г. лишила его реальной возможности стать первым российским лауреатом Нобелевской премии по физике (напомним, что Нобелевские премии не присуждаются посмертно). Второй шанс появился у российской науки 18 лет спустя после кончины Лебедева. Речь идет об открытии московскими физиками Григорием Самуиловичем Ландсбергом и Леонидом Исааковичем Мандельштамом спектров комбинационного рассеяния света — могучего метода, позволяющего определять структуру вещества.

Захватывающей истории московского открытия и краха надежд на увенчание этого научного достижения Нобелевской премией посвящено немало публикаций, среди которых наиболее полными и компетентными представляются исследования И.Л.Фабелинского [2], ученика Ландсберга и его ближайшего помощника. Нелишне отметить свежую работу, опубликованную в английском научном журнале, авторы которой вновь обратились к перипетиям заочного соревнования двух групп экспериментаторов, происходившего почти три четверти века назад [3].

Предпринимая еще одно расследование, автор попытается ввести в научный оборот дополнительные, ранее не публиковавшиеся, материалы, непосредственно касающиеся «нобелианы» обоих ученых. Документы, положенные в основу описания, хранятся и в российских архивах, и в фондах Королевской академии наук в Стокгольме.

Так случилось, что открытие комбинационного рассеяния света состоялось практически одновременно в двух физических лабораториях, отдаленных друг от друга многими тысячами километров — в Калькутте и Москве. Иначе говоря, про-

явился не так уж редко отмечаемый в науке феномен, когда совершенно не связанные между собой исследователи вдруг в одно и то же время фиксируют природное явление, до того никем не отмечавшееся, или выходят на принципиально новые научные решения.

В Калькутте эффект впервые был отмечен Чандрасекхаром Раманом в середине февраля 1928 г. 16 февраля он направил свое сообщение в редакцию журнала «Nature» и 31 марта оно появилось в печати (V.121. №3048. P.501—502). Московские физики, как свидетельствуют их записи в дневнике наблюдений, 21 февраля обратили внимание на ранее не замечавшиеся линии спектрограммы. Обнародовать свою находку они не торопились, посчитав за полезное провести дополнительные наблюдения с помощью более сильного светового устройства на приборе.

Полученные на нем результаты позволили им быстро разобраться в истинной природе наблюдавшегося физического эффекта. Сообщение об этом было направлено в журнал «Naturwissenschaften» 6 мая 1928 г. и опубликовано в нем 13 июля (Bd.16. №28. S.557—558). Однако Раман успевает до появления первой публикации москвичей опубликовать в «Nature» еще три своих сообщения и только в последнем, отправленном из Калькутты 15 мая и напечатанном 7 июля (V.122. №3062. P.12—13), наконец предлагает правильную интерпретацию обнаруженных необычных спектральных линий. То есть и в фиксации эффекта, и в опубликовании адекватного его объяснения приоритет индийского экспериментатора, по отношению к коллегам из Москвы, неоспорим. Хотя разница измеряется ничтожными промежутками времени.

Но главное не в календарных сроках. В конце концов присудить нобелевскую награду можно было бы всем троим: одну половину Раману и другую — московским физикам, что, собственно, и предлагал, как увидим ниже, ленинградский

© А.М.Блох



Леонид Исаакович Мандельштам.

профессор, почетный член АН СССР О.Д.Хвольсон; тем более что спектральные линии нового явления были зафиксированы в Калькутте на органических жидкостях, а в Москве на кристаллах. Это подчеркивало универсальность обнаруженного природного эффекта.

Основная препона для такого, на первый взгляд, справедливого распределения награды заключалась, однако, в совершенно иных обстоятельствах. Их убедительно разъяснил мне в феврале 1998 г. секретарь Нобелевского комитета по физике профессор Андерс Барани, оперативно передавший в мое распоряжение толстую пачку ксерокопий статей из научных журналов 1928 г. И тем самым лишний раз наглядно продемонстрировавший, сколь скрупулезно работали шведские эксперты в поисках всего того, что относилось к претендентам на очередную премию, и сколь надежно хранятся в архивах нобелевских комитетов фактологические свидетельства таких поисков, доступные для исследователя.

Уже в первой своей публикации Ландсберг и Мандельштам, успевшие в Москве познакомиться с сообщением Рамана и его коллеги К.С.Кришнана, как и положено в науке, сослались на индий-

ских коллег. В завершающей фразе этой ссылки авторы констатировали: «Насколько наблюдавшееся нами явление находится в соответствии с тем, о чем кратко сообщает Раман, судить пока мы не можем, ибо наше наблюдение должно еще быть подытожено». Результатом такого подытоживания стала капитальная статья московских физиков в «Zeitschrift für Physik» от 19 сентября 1928 г. (Bd.50. 1928. S.769—780), отправленная ими из Москвы 9 июля.

Но в том же номере журнала вместе с работой Ландсберга и Мандельштама печатаются еще две статьи по тому же вопросу: П.Прингсхайма и Б.Розена из Берлина и голландца К.Е.Блеекера из Утрехтского университета. В первой из них авторы подробно разбирают результаты собственных наблюдений на семействе органических жидкостей, а также на кристаллическом и расплавленном кварце; при этом не забывают упомянуть, что первооткрывателями эффекта на кристаллическом кварце были русские ученые. Однако сам эффект они именуют не иначе как Раман-эффект. Той же терминологией пользуется голландский автор, наблюдавший его спектр на ксилоле. Всего же, как поведал упомянутый Андерс Барани, к моменту появления первой публикации москвичей в разных научных журналах успело появиться 16 (!) статей других исследователей, оперативно взявших на вооружение новый метод познания структуры вещества; сослались они, естественно, лишь на сообщения Рамана.

Среди первых двух номинаций, полученных Нобелевским комитетом в 1929 г., значилось имя только индийского ученого. Одно из представлений подписал Нильс Бор, активный номинатор тех лет, к тому же хорошо информированный о достижениях советской физики. На состоявшемся в августе того же 1928 г. памятом VI съезде Русского физического общества неоднократно упоминалось о достижении московских ученых как об отечественной сенсации года. Событие это не преминули отметить в своих кратких отчетах о прошедшем форуме присутствовавшие на нем известные физики Макс Борн и Чарлз Дарвин, внук знаменитого естествоиспытателя [4]. И тем не менее для Бора, несомненно, читавшего эти отчеты, напечатанные в двух ведущих европейских научных журналах, осталась не очевидной первичная самостоятельность сообщений советских физиков в потоке вторичных публикаций по тому же поводу других экспериментаторов. Даже ему, при самом благосклонном отношении к России, работы Мандельштама и Ландсберга не показались настолько самодостаточными, чтобы рекомендовать их на Нобелевскую премию*.

* И.Е.Тамм, опираясь на услышанные им в 1949 г. на заседании оргкомитета по подготовке Всесоюзного совещания заведующих кафедрами физики в вузах недостоверные сведения, ошибочно утверждал, будто Н.Бор отказался «от должности члена экспертной комиссии при Шведской академии наук в знак протеста против присуждения Раману премии за это открытие» [5].

Не выдвинул он москвичей и в следующем, 1930 г., когда повторил свое представление Рамана. Вместе с ним ту же кандидатуру предложили еще девять номинаторов. Среди них мы видим такое созвездие имен, как нобелевские лауреаты Чарлз Вильсон, Эрнест Резерфорд, Жан Перрен, Луи де Бройль, Йоханнес Штарк... Насколько же скромнее на этом блестящем фоне выглядели два представления на Нобелевскую премию московских первооткрывателей.

В одном из них, подписанном ленинградским профессором О.Д.Хвольсоном, претендентом на премию, вместе с нашими соотечественниками, назывался также индийский ученый. Однако в представлении Хвольсона акцент делался не столько на строгом обосновании самостоятельных заслуг наших физиков, сколько на случившейся фатальной задержке их публикации. Текст номинации Хвольсона стоит того, чтобы воспроизвести его полностью:

«31 марта 1928 г. в английском журнале «Nature» появилось сообщение проф. Ч.В.Рамана, составленное в Калькутте 16 февраля, в котором исследователь описал открытое им новое явление. Оно известно ныне под именем «эффекта Рамана». Однако представляется несомненным, что профессора Г.С.Ландсберг и Л.И.Мандельштам из Москвы 21 февраля наблюдали и объяснили то же самое явление. Профессор Макс Борн из Геттингена обстоятельно ознакомлен с положением вещей и даже кое-что об этом опубликовал (имеется в виду статья в «Naturwissenschaften» [4]. — А.Б.). К сожалению, русские исследователи не торопятся обнародовать свои открытия. Если бы они 21 февраля написали в «Nature», то их сообщение появилось бы раньше, чем сообщение профессора Рамана, и мы сегодня имели бы не «эффект Рамана», а «эффект Ландсберга—Мандельштама» или эффект назвали бы именами всех троих. Поэтому было бы неправильно придавать решающее значение случайному упущению русских ученых. Я позволю себе поэтому предложить следующее: Нобелевскую премию по физике за 1930 год разделить — одну половину присудить профессору Ч.В.Раману из Калькутты, а другую профессорам Г.С.Ландсбергу и Л.И.Мандельштаму из Москвы» [6; л.74].

Вторым номинатором стал руководитель научного отдела Центральной радиолаборатории в Ленинграде профессор Н.Д.Папалекси. Номинация его стала первой и, добавим, последней в общении ученого с нобелевскими учреждениями; отсутствие опыта, как увидим далее, явно сказало на содержании номинации. Подчеркнув в представлении, что история с открытием спектров комбинационного рассеяния света могла бы послужить ярким примером успешного параллельного научного поиска, когда не связанные друг с другом исследовательские группы одновременно и независимо получают фундаментальные



Григорий Самуилович Ландсберг.

результаты, он затем сфокусировал внимание на фигуре одного Мандельштама.

Итоговый вывод его представления таков. Мандельштам пришел к своему открытию в результате планомерного многолетнего изучения проблем молекулярного рассеяния света. Его первые работы, посвященные этой проблеме, были опубликованы еще в 1907 и 1913 гг. [7]. Все это, посчитал номинатор, дает основание «выдвинуть профессора доктора Леонида Мандельштама... в качестве одного из кандидатов (курсив мой. — А.Б.) на Нобелевскую премию по физике 1930 года» [6; л.22—23]. Т.е. вместо того, чтобы поименно перечислить троих законных претендентов на награду, Папалекси предпочел назвать лишь одну фамилию, которая и была внесена в регистрационный список.

Самостоятельность и независимость открытий в Калькутте и Москве сегодня никем не оспаривается. Не оспаривалось это, собственно, и в те далекие времена. Копии публикаций Борна и Дарвина хранятся в архивном фонде Королевской академии наук, т.е. эксперты и члены комитета были знакомы с их содержанием. Но комплекс критериев, которыми обязаны руководствоваться нобелевские учреждения при анализе приоритетных тонкостей, не оставили иного выбора ни им, ни голосящим академиком учреждения-наделителя.



Чандрасекхар Раман.

Кстати говоря, Ландсберг и Мандельштам сами нигде и никогда не выказывали укора в адрес стокгольмских судей, тем более что у столь значительной проволоочки с публикацией имелось подспудное специфическое обстоятельство, с экспериментом никак не связанное. Профессор Фабелинский, сдавая рукопись своей брошюры [2] в печать в декабре 1981 г., т.е. в самый пик брежневского застоя, не имел возможности из-за цензурных роготок донести до читателя всю правду тех далеких дней. 16 лет спустя, в кардинально иной обстановке, он эту правду обнародовал, впервые поведав об истинной подоплеке возникших задержек, которые объективно лишили наших ученых и, вместе с ними, советскую физику возможности претендовать на заслуженную нобелевскую награду.

Предоставим слово Фабелинскому, два десятка лет трудившемуся рядом с Ландсбергом и неоднократно общавшемуся с Мандельштамом:

«Дело было в том, что как раз в это время (15 марта 1928 г.) арестовали Л.И.Гуревича, родственника Л.И.Мандельштама, и оказалось, что Леонид Исаакович эффективнее других мог разобраться в этом деле и способствовать освобождению человека. Физические исследования и все, что имеет к ним отношение, приостановились, и Л.И. должен был заняться другой областью человеческой

деятельности. Когда это юридическое дело было закончено, можно было приступить к продолжению работы и к публикации достоверных результатов, но времени уже прошло много» [8].

Дополнила это повествование внучка Леонида Исааковича, Татьяна Сергеевна Мандельштам. Арестованный Л.И.Гуревич, председатель правления одного из тогдашних банков, был женат на сестре Александра Гавриловича Гурвича, известного биолога, чьи так называемые митогенетические лучи наделали в научном мире немало шума, а сам их первооткрыватель на рубеже 20—30-х годов не раз выдвигался иностранными и отечественными номинаторами на Нобелевскую премию по физиологии и медицине. Гурвич приходился Мандельштаму двоюродным дядей, и оба экспериментатора вынуждены были прекратить на время научные исследования, переключившись на помощь попавшему в беду человеку; того уже успели приговорить к расстрелу.

Их хлопоты и собранные свидетельства невиновности осужденного позволили достичь положительного результата. При пересмотре дела расстрельный приговор был отменен и заменен на ссылку. А потерянное время Мандельштаму возместить не удалось, что дорого обошлось советской науке...

Добавим к сообщенному, что печальная история эта пришлась на начавшийся в стране насильственный демонтаж нэпа и перевод относительно либеральной экономики Советского Союза тех лет на рельсы командно-административной системы. Сотни тысяч людей, огульно обвиненных в совершении хозяйственных преступлений, оказались жертвами вакханалии пронесшихся арестов. Сегодня к этим безвинным жертвам тоталитарного режима мы вправе добавить и неприсужденную отечественным ученым Нобелевскую премию 1930 г., которая могла бы стать первой такой наградой в истории советского государства...

В этой связи представляются интересными некоторые сведения о поведении Рамана в период, непосредственно предшествовавший присуждению награды. Сомнений в том, что в 1930 г. он наверняка станет нобелевским лауреатом, у него не было. Согласно воспоминаниям его помощника по лаборатории, тогда совсем молодого Сури Бхагаванта, которые тот подготовил к полувековому юбилею открытия комбинационного рассеяния света, Раман «за два месяца до того, как узнал о присуждении Нобелевской премии,... купил билет на пароход, чтобы не опоздать на церемонию в Стокгольме». Беспокоил его лишь вопрос, будут ли у него коллеги по награде. «Я отчетливо помню, — писал далее Бхагавантам, — его реакцию, когда я сообщил ему весть о присуждении премии после того, как сам узнал по телефону от одного индийского агентства новостей в Калькутте. Он спросил у меня, присуждена ли премия ему одному, или он должен разделить кровать с другими

иностранцами» [9]. Он отлично понимал, какие «другие иностранцы» были бы вправе претендовать на эту самую кровать.

Обращает на себя внимание, что эпизодом с Нобелевской премией по физике 1930 г. не воспользовалась пропаганда в конце 40 — начале 50-х годов, в период печальной памяти кампании «борьбы с космополитизмом». Прессу тогда переполняли инвективы в адрес нобелевских учреждений, и случай с награждением одного Рамана в обход отечественных ученых, казалось бы, мог послужить отличным поводом для антинобелевских выступлений.

Причины умолчаний очевидны. Послевоенный период в жизни страны совпал с чередой антиинтеллектуальных идеологических кампаний. Начались они в 1947 г. с «дела Клюевой и Роскина», ложно обвинявшихся в несанкционированной передаче американцам созданного ими антиракового препарата «КР». Когда же в 1948 г. в ЦК ВКП(б) вновь реанимировали возникшую в 1945 г. на Старой площади идею международных премий, то из числа лиц, «обиженных нобелевскими комитетами», фамилии Ландсберга и Мандельштама были вычеркнуты.

Наработанные пропагандистские шаблоны органично переросли к началу 1949 г. в уже упомянутую кампанию «борьбы с космополитизмом». А уж на этой хорошо удобренной ниве оживились всходы давнего противостояния, существовавшего еще с 30-х годов, между двумя школами физиков — школой сторонников современных, неклассических, представлений в науке, приверженцы которой сотрудничали преимущественно в учреждениях Академии наук, и школой консерваторов, состоявшей главным образом из профессоров физфака МГУ, новых веяний не воспринимавших; например, факт возникновения на заре 20-го столетия теории относительности трактовался ими как «трагедия буржуазной науки» [10; с.29].

Одной из наиболее подходящих для шельмования фигур оказался для консерваторов академик Мандельштам. Даже через четыре с лишним года после его кончины имя Мандельштама звучало из их уст едва ли не на каждом из заседаний оргкомитета запланированного на 1949 г. Всесоюзного совещания заведующих кафедрами физики в вузах (оно так и не было созвано), призванного, как теперь говорят, «лысенковать физику» [10; с.114—161]. Наибольшей активностью в нападках на покойного маститого ученого отличался профессор МГУ Н.С.Акулов; он дошел до того, что обвинил Мандельштама и Папалекси, тоже уже покойного, в шпионаже в пользу Германии. Ландсберга же, присутствовавшего в зале, он подключил, вместе с Л.Д.Ландау, В.А.Фоком, Я.И.Френкелем, М.И.Леонтовичем и другими, к «антипатриотической группе физиков» [10; с.135].

Дискуссия, вместившая в себя 42 дня заседаний, проходила под неусыпным контролем нахо-



Орест Данилович Хвольсон.



Николай Дмитриевич Папалекси.

дившихся в зале идеологов из Отдела пропаганды и агитации ЦК ВКП(б). Лишь президент АН СССР С.И.Вавилов добрым словом помянул советских первооткрывателей важного физического эффекта, оценивая, правда, невниманием Нобелевского комитета к их заслугам на уровне существовавших в то время восприятий [11]. Да еще академик А.А.Андронов и будущий нобелевский лауреат И.Е.Тамм в своих эмоциональных выступлениях смело взяли под защиту честь и достоинство авторов открытия [5].

Выступления Вавилова, отстаивавшего приоритет советской науки при открытии комбинационного рассеяния света, не раз звучали и до 1949 г. В частности, 25 сентября 1947 г. он воспользовался для тех же целей аудиторией ФИАНа, где проходило обсуждение закрытого письма ЦК ВКП(б) по «делу Ключевой и Роскина». Напомнив об истории с публикацией научных результатов, полученных в Калькутте и Москве, вследствие чего «Раман получил Нобелевскую премию, а Мандельштам и Ландсберг остались без премии», Сергей Иванович продолжил: «Не могу не отметить

следующее: к несчастью, и у нас в отечестве советское открытие во многих случаях стараются замалчивать. Мне лично пришлось вести борьбу по этому вопросу даже в таком авторитетном месте, как пленум Сталинского комитета, о чем я подал соответственный, как моряки говорят, рапорт» [12].

Пока неясно, что за открытие имел в виду в этом случае президент Академии наук. Возможно, какое-то иное — не эффект комбинационного рассеяния. Но что очевидно, так это полное соответствие слов Вавилова о традициях небрежения выдающимися открытиями и изобретениями «у нас в отечестве».

Знаковое достижение московских физиков не было увенчано ни Нобелевской премией, ни другой научной наградой. Десятилетиями функционировавшие на родине ученых ленинские, сталинские, потом снова ленинские награжденные комитеты поступили по отношению к ним так же, как Нобелевский комитет. Только исходные позиции отечественных надельщиков зиждильсь, увы, на совсем иных мотивах...■

Литература

1. Блох А.М. «Нобелиана» Петра Лебедева и Владимира Ипатьева // Природа. 2002. №3. С.71.
2. Фабелинский И.Л. К истории открытия комбинационного рассеяния // Новое в жизни, науке, технике. сер. «Физика». М., 1982; Комбинационному рассеянию света — 70 лет // Успехи физ. наук. 1998. Т.168. №12. С.1341—1360.
3. Singh R., Riess F. The 1930 Nobel price for physics: a close decision? // Notes Rec. R. Soc. Lond. 2001. V.55. №2. P.267—283.
4. Born M. // Naturwissenschaften. 1928. Bd.16. №39. S.741; Darwin Ch.J. // Nature. 1928. V.122. №3077. P.630.
5. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.9396. Оп.1. Ед.хр.251. Л.95.
6. Архив Королевской академии наук. Фонд нобелевских комитетов по физике и химии, материалы за 1930 г.
7. Annalen der Physik. 1907. Bd.23. №4. S.626—642; Ibidem. 1923. Bd.41. №3. S.609—624.
8. Фабелинский И.Л. // Успехи физ. наук. 1998. Т.168. №12. С.1344.
9. Vbhagavantam S. // Proc. VII Int. Conf. Raman. Spectroscopy. 1978. V.1. P.10—11.
10. Сонин А.С. «Физический идеализм». История одной идеологической кампании. М., 1994. С.29.
11. ГАРФ. Ф.9396. Ед.хр.252. Л.29.
12. Центральный архив общественных движений Москвы. Ф.6862. Оп.1. Ед.хр.7. Л.95—97.

Археология

Суда-призраки из Венецианской лагуны

В 1348 г. монахи, проживавшие в монастыре на о.Сан-Марко, расположенном неподалеку от Венеции, пытались предотвратить его затопление. Настоятель монастыря решил, что для этого достаточно пришвартовать к берегу корабли. Вене-

цианский дож предоставил в его распоряжение 38-метровую галеру «Королева Средиземноморья» и плоскодонное посыльное судно. Увы! Их затопило вместе с монастырем.

Недавно во время осушения этой части лагуны в иловой толще были обнаружены два прекрасно сохранившихся судна — уникальный материал для изучения технологии средневекового кораблестроения. Одна-

ко у итальянских археологов для этого было всего 10 дней: оказавшись на открытом воздухе, деревянные части быстро разрушались. Тем не менее ученые успели исследовать отдельные судовые конструкции, а кроме того провели точную привязку местоположения находки по Глобальной системе позиционирования (GPS).

Sciences et Avenir. 2001. №656. P.26 (Франция).

Новости науки

Новости науки

Космические исследования

Неудачное свидание с Ио

Неудачей закончилось последнее в программе полета американского космического зонда «Галилео» сближение со спутником Юпитера — Ио.

17 января 2002 г. в 13 ч 41 мин по Всемирному времени, за 28 мин до максимального сближения с Ио, произошла перезагрузка бортового компьютера, и аппарат был автоматически переведен в «безопасный режим», что, в частности, означает прекращение сбора научных данных. Причиной сбоя стала ошибка в управляющей программе аппарата. 18 января «Галилео» вернулся к жизни, но, к сожалению, последняя возможность исследования Ио с близкого расстояния была упущена. Неудача тем более обидная, что 17 января зонд пролетел как никогда близко к Ио — всего в 100 км от поверхности спутника. Это было 34-е, и последнее, свидание «Галилео» с галилеевыми спутниками Юпитера — Ио, Европой, Ганимедом и Каллисто. Поскольку другие миссии к Юпитеру на ближайшее будущее не запланированы, можно с уверенностью сказать, что земляне не скоро получат новые данные об этих небесных телах.

Сближение с Ио, помимо получения снимков поверхности, преследовало и другую цель: притяжением спутника скорректировать орбиту «Галилео» и направить аппарат к Амальтее. Встреча с этим спутником состоится в ноябре 2002 г. Он станет последним объектом в системе Юпитера, который предстоит исследовать с помощью «Галилео». После свидания с Амальтеей аппарат будет направлен «в последний путь» и прекратит свое существование в атмо-

сфере Юпитера в сентябре 2003 г. Решение уничтожить зонд принято из опасения, что неуправляемый полет может рано или поздно привести его на Европу — наиболее перспективный с точки зрения наличия жизни объект Солнечной системы.

«Галилео» был запущен 18 октября 1989 г. Начав исследования системы Юпитера 7 декабря 1995 г., аппарат успешно выполнил основную программу полета в 1997 г., после чего экспедиция продлевалась еще три раза.

http://www.jpl.nasa.gov/releases/2002/release_2002_17.html

Астрофизика

Изучая «темную материю»

Одной из наиболее загадочных проблем астрофизики остается природа так называемой темной материи — невидимого вещества, чье притяжение удерживает некоторые галактики от полного разлета друг от друга. Уже около 25 лет общепризнано, что темная материя — это основная форма вещества во Вселенной, но понимания его свойств все еще не достигнуто. Данному вопросу была посвящена, в частности, конференция «Два года со спутником “Chandra”» (Вашингтон, сентябрь 2001 г.), на которой подводились итоги наблюдений рентгеновского излучения в космосе с помощью этого ИСЗ.

Накопившаяся информация о количестве темной материи, оцениваемом по неоднородности фонового излучения и распределению галактик в космосе, позволяет предположить, что обычное, непосредственно наблюдаемое, вещество составляет всего около 5% той массы, которая необходи-

ма космологам для объяснения «устраивающей» их формы Вселенной. Масса же темной материи достигает примерно 25%, остальное, по мнению многих специалистов, — это вещество с отрицательным давлением, эквивалентное эйнштейновскому λ -члену.

С.Аллен (S.Allen; Астрономический институт в Кембридже, Великобритания) привел на конференции новейшие свидетельства правоты таких представлений. Руководимая им группа специалистов, используя аппаратуру спутника «Chandra», наблюдала поток рентгеновского излучения, который идет от облаков газа, находящихся внутри массивных скоплений галактик. Впервые удалось с достаточной точностью измерить температуру газа. Построенный температурный профиль и данные о плотности газа позволили вычислить массу, способную удерживать галактическое скопление в его целостном состоянии. Полученные величины оказались близки к теоретическим.

Данные с Космического телескопа Хаббла и результаты наземных наблюдений предоставили материал для независимой проверки подобных выводов. Была применена методика, основанная на определении того количества масс, которое необходимо, чтобы своим притяжением искривлять световое излучение удаленных от нас галактик. Это явление именуется гравитационным линзированием: тяготение действует здесь аналогично увеличительному стеклу, концентрирующему световые лучи. И в этом случае результаты оказались сходными с полученными при наблюдении фонового излучения и распределения галактик в пространстве.

Science. 2001. V.293. №5537. P.1970 (США).

Судьбу Марса решал вулкан?

Самая заметная черта Западного полушария Марса — грандиозная возвышенность Фарсида: высота 10 км, площадь около 30 млн км². Установлено, что в центре Фарсиды некогда действовал вулкан, выбросы которого создали гигантское нагорье и породили многочисленные разломы. В какой мере и как влияло это горное сооружение на общее строение, поле тяготения, климат и фигуру Красной планеты? Исследованием этих вопросов занимается большая группа американских специалистов во главе с Дж.Филлипсом (R.F. Phillips; Центр космических наук им.Макдоннелла при Университете им.Вашингтона).

Приняв, что толщина верхней упругой литосферы Марса, подверженной деформации, около 100 км, ученые установили, что вокруг возвышенности Фарсида существует кольцо аномалий силы тяжести, причем на северо-запад, северо-восток и восток от него эти показатели низкие, а на юг — относительно высокие. Вокруг почти всей Фарсиды проходит глубокий трог — корытообразная долина. Она простирается на восток до бассейна Аргир, некогда образованного падением небесного тела, затем касается равнин Хриз и Асидалия и наконец выходит к Северному полярному бассейну. На северо-запад от возвышенности в систему трога включены равнины Аркадия и Амазония. К юго-западу от Фарсиды депрессия выражена менее ярко. Возможно, отрицательные аномалии силы тяжести зависят здесь не только от топографии; трог мог заполняться осадочными породами меньшей плотности по сравнению со средним ее значением для всей марсианской коры.

Большой интерес вызывает крупная возвышенность Аравия — антипод Фарсиды. Она располагается точно напротив, на другой стороне Марса, и протягивается до бассейна Утопия на севере планеты.

Двойственность топографии Марса (на севере — в основном низменности, на юге — возвышенности) скорее всего не связана с дополнительной нагрузкой, вызванной появлением Фарсиды. Но аномально широкая западная кромка бассейна Утопия все же может быть результатом воздействия именно такой нагрузки; не исключено, что благодаря ей появился характерный склон ударного бассейна Эллада, обращенный в сторону Южного полюса. Но в любом случае авторы работы считают, что гравитационное поле Красной планеты формировалось под значительным воздействием возвышенности Фарсиды и связанной с ней глобальной деформацией Марса, происшедшей на ранней стадии его существования.

На основании подсчета ударных кратеров и анализа их расположения история планеты разделена на три эпохи: наиболее древнюю, нойскую (3.8—3.5 млрд лет назад; названа по имени библейского пророка Ноя), гесперийскую (3.55—1.8 млрд лет назад; названа в честь сестер-хранительниц яблок бессмертия) и последнюю по времени — амазонскую. Примерно половина радиальных и концентрических структур, которые относятся к возвышенности Фарсиды и образуют основные тектонические черты всего региона, датируется нойской эпохой. Похоже, что к этому этапу относится и пик вулканической активности. К концу нойской эпохи нагрузка, связанная с формированием возвышенности, стала ощущаться в глобальном масштабе. Именно с тех пор и существуют Фарсидский трог и Аравийский выступ планетарной коры.

Большая часть характерных для Марса долин и «каналов» располагается среди южных возвышенностей нойского возраста; почти все истоки крупных «рек» и их многочисленных «притоков» находятся на возвышенности Фарсиды. Эрозионная роль поверхностных вод достигла наивысшего уровня в конце нойской эпохи: это был период интенсивнейших

преобразований марсианского ландшафта. А значит, климат той эпохи был значительно более теплым и влажным, чем ныне. Возможно, на него повлияли массовые выбросы CO₂ и H₂O во время излияний магмы. Исследователи считают, что при 100-километровой толщине упругой литосферы объем изверженных пород составил 3·10⁸ км³; при их равномерном распределении по всей поверхности на планете образовался бы слой в 2 км. Если содержание воды в породах было таким же, как в базальтовых лавах Гавайских вулканов, на Марсе могли возникнуть атмосфера из CO₂ с давлением около 1.5 бар и глобальный океан глубиной 120 м. Со временем излияние вулканических продуктов пошло на убыль, CO₂ и H₂O стали покидать атмосферу и воздушная оболочка менее чем за несколько миллионов лет резко сократилась. Вопрос о возможности жизни на Марсе в подобных условиях авторы не рассматривают.

Science. 2001. V.291. №513. P.2587 (США).

Странности топографии Эроса

Для изучения Эроса — малого тела Солнечной системы поперечником всего около 33 км — НАСА США направило 17 февраля 1996 г. полутонный космический аппарат «Near Earth Asteroid Rendezvous» («NEAR»). 14 февраля 2000 г. он вышел на орбиту вокруг астероида. По программе предполагалось лишь многократный облет Эроса с орбиты этого рукотворного спутника, но достаточный запас топлива позволил ему по окончании миссии опуститься на поверхность астероида¹, что и произошло 12 февраля 2001 г. Радиосигнал с аппарата «NEAR» продолжал поступать на Землю в течение еще более 2 недель после посадки. Ученые снова включили спектрометр, регистрирующий гамма-из-

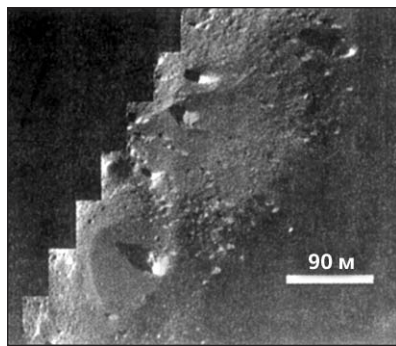
¹ Вибе Д.З. Рандеву с Эросом состоялось // Природа. 2001. №6. С.78—79.

лучение, что дополнило данные, собранные на орбите.

К сожалению, возобновить получение фотоизображений не удалось, так как объективы телекамер оказались почти на одном уровне с поверхностью тела. Но последние фотографии, сделанные при самом подлете к Эросу, вызвали огромный интерес планетологов, никак не ожидавших увидеть такие черты его рельефа. Фотоизображения были продемонстрированы на конференции, срочно собранной в Университете им. Дж. Хопкинса в Лореле (штата Мэриленд).

За год работы аппарат получил около 160 тыс. высококачественных снимков Эроса. Одна из удивительных особенностей его рельефа — изобилие каменных обломков размером от нескольких сантиметров до полутора сотен метров. Подробные карты распределения каменных глыб построили П. Томас, Й. Веверка (P. Thomas, J. Veveřka; Корнеллский университет, Итака, США) и их коллеги. На всей поверхности Эроса (1125 км²) они насчитали 6760 валунов диаметром более 15 м. На малой планете такие обломки могут иметь только ударное происхождение. И действительно, подробный анализ изображений показал, что около половины камней находятся внутри кратера диаметром 7,6 км, расположенного вблизи одного из окончаний астероида (авторы предлагают назвать кратер именем американского геолога и планетолога Ю. Шумейкера). Удивительно, что скорее всего из этого же кратера выброшены и все другие крупные валуны, сосредоточенные в основном в экваториальной области астероида. На то указывает численное моделирование траекторий разлета обломков при образовании кратера Шумейкер (вылетевшие из других кратеров распределились бы по поверхности иначе).

Ранее астрономы полагали, что обломки, образующиеся при столкновении астероида с метеорными телами, приобретают достаточно большие скорости, чтобы навсегда покинуть его гравитационное поле. Обилие валунов на поверхности Эроса и их связь



«Пылевые озера» на поверхности Эроса.

с единственным кратером ставят перед учеными два вопроса. Во-первых, почему не разлетелись в космическое пространство обломки из кратера Шумейкер? Во-вторых, если гравитационное поле астероида все-таки сумело их удержать, где в таком случае обломки, связанные с двумя другими крупными кратерами — седлообразной впадиной Химерос на выгнутой стороне Эроса и Психеей на его вогнутой стороне? Ответа ученые пока не имеют. Есть основания полагать, что из трех кратеров самый молодой — Шумейкер, и потому более старые валуны либо уже разрушились, либо погребены слоем мелкодисперсного вещества, тоже вылетевшего из этого кратера.

С мелкодисперсным веществом (по аналогии с лунной почвой его называют реголитом) связана еще одна загадка Эроса. Местами, как правило, в кратерах и других углублениях, реголит образует на поверхности своеобразные «пылевые озера» — четко ограниченные россыпи с очень гладкой поверхностью. Судя по снимкам, в одно из таких «пылевых озер» или рядом с ним и приземлился «NEAR». Анализ структуры и оптических свойств поверхности «озер» и их «берегов» позволяет нарисовать следующую картину: пылевые частицы в какой-то момент потеряли сцепление и начали «стекать» по склонам к центру углубления, одновременно сортируясь по размеру; этот мелкозернистый материал осел на дне пло-

ским выровненным слоем. Авторы открытия считают, что здесь скрывается электростатический эффект (подобный наблюдаемому на поверхности Луны): под влиянием солнечного излучения мельчайшие пылинки приобретают электрический заряд, поднимаются над поверхностью астероида, а затем под действием силы тяжести соскальзывают вниз. С наступлением ночи заряд пропадает, и к пыли возвращаются ее обычные свойства. Предварительные данные свидетельствуют в пользу этой гипотезы, хотя Томас признает, что она требует многочисленных допущений. Кроме того, если «электростатическая левитация» действует на Эросе, она должна работать и на других астероидах. Однако ничего подобного на снимках астероидов Гаспра и Ида, а также спутника Марса — Фобоса не обнаружено.

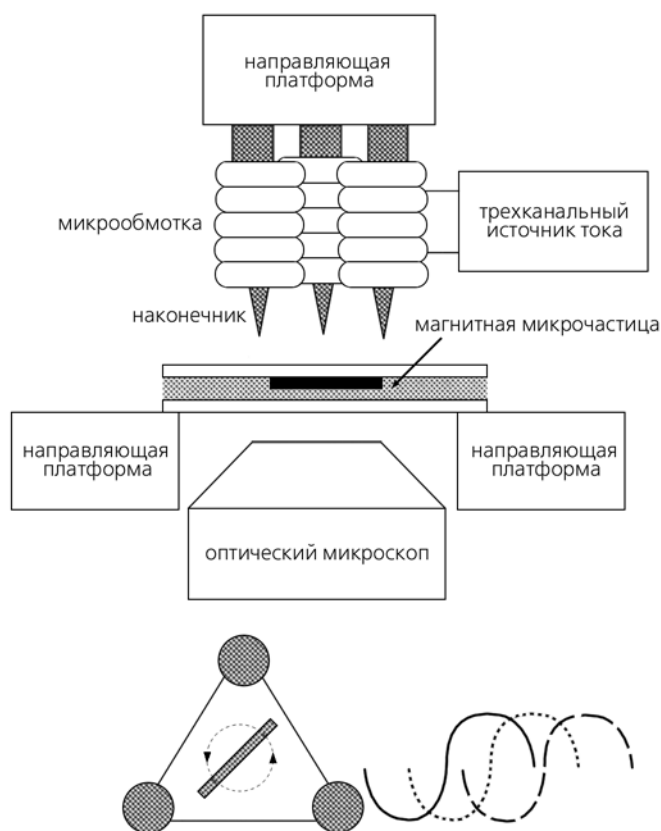
Странным выглядит также обилие крупных валунов диаметром более 8 м каждый; их, вероятно, насчитывается до 1 млн. Одно из объяснений предложил планетолог Э. Асфог (E. Asphaug; Университет штата Калифорния, Санта-Крус) совместно с коллегами-сейсмологами. Они полагают, что многочисленные сильные соударения Эроса с иными небесными телами так сотрясали его, что каменные обломки рассортировались: крупные и массивные поднялись к поверхности, а мелкие погрузились в глубь тела.

Nature. 2001. V.413. P.394, 396 (Великобритания); Science. 2001. V.291. №5508. P.1467 (США).

Техника

Электромагнитный микромотор для жидкостных микросистем

Чтобы создать аналитические лаборатории субмиллиметровых размеров (так называемые лаборатории-на-кристалле, или биочипы), нужны миниатюрные механические, оптические, магнитные и электронные компоненты. Функционирование микрожидкостных систем биомедицинского



Блок-схема электромагнитного микромотора. Внизу — фазовые соотношения между токами в микрообмотках (вид сверху).

назначения определяется качеством устройств для транспорта жидкостей по микроканалам и клапанов для ограничения этих потоков. При изготовлении таких устройств по полупроводниковой технологии приходится бороться с электростатическим эффектом, вызванным поверхностными зарядами. Магнитные же компоненты могут развивать большие усилия и на значительном удалении в силу объемного характера магнитных сил.

Группа ученых из Калифорнийского университета представила недавно магнитный микро-мотор, в котором свободный ротор вращается в растворе при помощи статора, находящегося вне жидкости и состоящего из трех магнитомягких микрозондов с обмотками¹. Каждая обмотка содер-

жит 10 витков провода диаметром 25 мкм, которые наматываются вручную на зонд диаметром 50 мкм из мягкого ферромагнетика. Для увеличения градиента магнитного поля зонды электролитически затачиваются. Расстояние между зондами 100 мкм. Роль ротора выполняет однодоменный никелевый стержень длиной 40 мкм и диаметром 1 мкм, полученный гальваническим осаждением никеля в пористую подложку, впоследствии растворяемую. Массовый способ выращивания таких стержней хорошо отработан и недорог, так что ротор легко заменяется. Стержни погружаются в глицерин, который, во-первых, действует как смазка, а во-вторых, препятствует вертикальному движению роторов за счет сил поверхностного натяжения. По трем независимым каналам на катушки зондов подаются синусоидальные

сигналы со сдвигом по фазе на 120°. При этом на ротор одновременно действуют силы притяжения и отталкивания от разных зондов.

В другом варианте стержни погружают в воду (меньшее сопротивление обеспечивает большие скорости вращения) внутри плоской капиллярной трубки (сечение полости 500×50 мкм², толщина стенки 40 мкм). Естественно, в микросистеме параметры камеры для роторов могут быть лучше согласованы с их размерами. Направление вращения ротора изменяется при смене направления тока в двух зондах. Пока получена скорость вращения ротора до 250 об/мин (ее ограничивает темп переключения каналов компьютером). Но скорость может быть и значительно выше благодаря малой массе, моменту инерции вращения ротора, индуктивности зондового узла.

Разработанный магнитный микро-мотор перспективен для применения в качестве мешалки, насоса и клапана в микромеханических устройствах.

<http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/p118/index/html>

Зоология

Все о размерах сцинковых ящериц

В зоологии накоплено столько сведений о самых разных видах, что, обобщая их, можно сделать довольно любопытные заключения. Это и проиллюстрировал А.Грир¹ из Австралийского музея в Сиднее. Он сопоставил опубликованные данные о размерах всех известных в мировой фауне сцинковых ящериц — одного из самых крупных их семейств. Оказалось, что в нем насчитывается 1227 ныне живущих видов, и Грир нашел сведения о длине тела (без хвоста) 1206 из них! Поскольку ящерицы, как и другие пресмыкающиеся, растут всю свою жизнь, для характеристики их размера он брал мак-

¹ Greer A. // J. Herpetol. 2001. V.35. №3. P.383—395.

симальные известные параметры. Получилась впечатляющая кривая распределения видов по размерам.

Самые мелкие сцинковые ящерицы встречаются в Австралии. Это — представители рода *Menetia*, длина их тела не превышает 3 см. Например, взрослые *M.maini* не бывают крупнее 28 мм. Эти крошечные стройные ящерицы живут в сухих лесах северной части континента. А самый крупный представитель семейства — южноафриканский *Acontias plumbeus*, у него длина тела достигает почти полуметра. Однако крупных видов среди сцинковых ящериц относительно немного. Большинство из них явно тяготеют к малым формам. Наиболее популярный размер — 55 мм. Такая длина тела зарегистрирована у 33 видов! Любопытно, что и среди ископаемых сцинков нет видов более крупных или более мелких, т.е. ныне живущие представители семейства полностью реализуют физиологически допустимый диапазон размеров. Явная эволюционная тенденция к миниатюризации этих ящериц ограничивается, вероятно, тем, что им приходится откладывать яйца, размеры которых уменьшить гораздо труднее; и чем мельче вид, тем относительно крупнее и массивнее оказываются яйца у его представителей.

Крупные и мелкие виды сцинков различаются по образу жизни. Миниатюрные чаще встречаются в пустынных и засушливых местах обитания (что, казалось бы, удивительно: ведь по механическому соотношению поверхности и массы тела именно мелкие животные должны больше страдать от сухости и перегрева). С другой стороны, среди сцинков-великанов больше роющих видов; у них более разнообразная диета, преобладают живородящие виды. Грир обратил внимание и на то, что среди сцинков-великанов немало обитателей небольших океанических островов. Возможно, они выжили только благодаря отсутствию хищников. Кстати сказать, среди видов сцинков, исчезнувших с лица Земли за последние 200 лет, крупных относительно больше, чем мелких.

Интересно, что аналогичную картину распределения видов по размерам тела ранее получили для другого многочисленного семейства — гекконовых ящериц. Это позволяет предполагать, что эволюция размеров в обеих группах происходила под воздействием сходных факторов.

© Д.В.Семенов,
кандидат биологических наук
Москва

Этология

Вся мудрость жизни — у слоники

Как известно, африканские слоны (*Loxodonta africana*) обычно образуют семейные группы, возглавляемые самкой (как правило, старшей в стаде). Именно она дает команду перейти с одного участка на другой, предупреждает об опасности, наводит в случае необходимости порядок в семье и т.п. Все это требует от нее хорошей информированности об окружающем мире.

Специалисты по экспериментальной психологии животных К.Мак-Ком (К.МсКомб; Сассекский университет в Брайтоне, Великобритания), С.М.Дюран (S.M.Durant; Зоологический ин-

ститут в Лондоне), С.Мосс и С.Сайялель (С.Мосс, S.Sayialel; Фонд исследований африканской природы, Найроби, Кения) в течение 28 лет наблюдали за жизнью примерно 1700 слонов в национальном парке «Амбосели» в рамках международного проекта «Изучение кенийских слонов». 20 групп этих животных перемещались по саванне независимо друг от друга, но время от времени как целые семьи, так и отдельные особи встречались.

Исследователи записывали на магнитофоны издаваемые слонами звуки, а затем воспроизводили их и наблюдали за реакцией животных. Услышав голос неизвестного слона, самки загоразивали собой детенышей, чтобы уберечь их от опасности. Знакомый же голос не вызывал у них беспокойства. Однако группы сильно различались по способности распознавать «своих» и «чужих». Некоторые семьи начинали занимать оборону, даже услышав голос знакомого слона, другие же оценивали ситуацию правильно.

Оказалось, что поведение слонов четко зависит от возраста главы семьи. Кроме того, опыт старшей самки облегчает жизнь молодым, делает ее более безопасной и, следовательно, влияет на плодовитость рода — очень часто в группах, где правит наиболее пожилая слониха, рождается больше детенышей (в пересчете на одну самку).

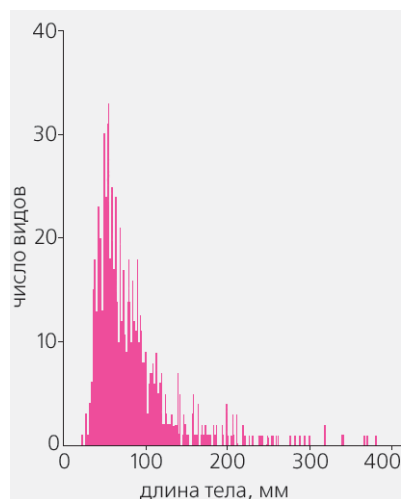
Из этого следует важный вывод: браконьер, убивший старшую самку, наносит непоправимый ущерб всей семье.

Science. 2001. V.292. №5516. P.417, 491 (США).

Геофизика

Вода как смазка литосферы

Известно, что в процессах плитовой тектоники решающим фактором является субдукция — погружение поверхностной плиты земной коры в глубины мантии. Однако до сих пор оставалось неясным, что инициирует субдукцию



Распределение видов в семействе сцинковых ящериц по размерам тела (без хвоста).

в конкретном месте и в определенное время. Этим вопросом занималась международная группа геофизиков, возглавляемая К.Регенауэром-Либом (K.Regenauer-Lieb; Швейцарская высшая техническая школа в Цюрихе) при участии американских специалистов. Они построили нелинейную компьютерную модель процесса субдукции высокой разрешающей способности (менее 1 км), учитывающую реологию (текучесть) литосферы.

Чтобы заставить участок холодной жесткой литосферы, имеющей отрицательную плавучесть, опускаться в мантию, необходима термохимическая неустойчивость. Такая неустойчивость может медленно возникать в ходе длительной (примерно 100 млн лет) и все возрастающей нагрузки на литосферу за счет накопления осадочных пород в зоне контакта двух плит. В результате образуется ослабленная зона, которая готова погрузиться под жесткую литосферную плиту.

Но начало субдукции, как установили исследователи, должна положить вода. Моделирование показало, что именно ее избыток приводит к возникновению двойной обратной связи (термоэластичной и термореологической), когда вода служит как бы смазочным материалом для движения крупной литосферной массы. Вода и термомеханическая обратная связь в состоянии создать в литосфере узкую (менее 600 м) сдвиговую зону с низким уровнем вязкости.

Science. 2001. V.294. №5542. P.578 (США).

Вулканология. Океанология

Открыты вулканы на дне Ледовитого океана

В начале 2001 г. ученые, работавшие на борту американской подводной лодки «Hawkbill», которая проводила съемку дна Северного Ледовитого океана в высоких широтах, открыли два не известных ранее действующих вулкана. Севернее архипелага Северная Земля (86°с.ш., 85°в.д.) звуколокаторы обнаружили два островвер-

шинных поднятия неправильной формы высотой ≈500 и 1000 м. Эти горы находятся в восточной части протянувшегося более чем на 1 тыс. км подводного хребта Гаккеля¹, который разделяет котловины Нансена и Амундсена.

Высокая степень отражения звуковых волн говорит о том, что вершины поднятий голые, т.е. почти не покрыты свежими осадками; они сложены молодыми базальтами. Этот факт, а также обнаруженные здесь характерные линейные магнитные аномалии позволили группе американских геофизиков во главе с М.Х.Эдвардсом (M.H.Edwards; Гавайский институт геофизики и планетологии) прийти к выводу, что в исследуемом районе под океанским дном идут вулканические процессы. Построенная учеными математическая модель показала: горные породы плавятся здесь очень медленно, что объясняется, в частности, малой (1.0—1.3 см/год) скоростью спрединга.

Возможно, на дне Северного Ледовитого океана находится еще не один вулкан, ждущий своего открытия: еще в январе—сентябре 1999 г. сейсмические станции зарегистрировали рои слабых землетрясений с эпицентрами, находящимися недалеко от одной из обнаруженных гор. Подобных событий в пределах хребта Гаккеля не зафиксировано в сейсмических архивах за последние 100 лет — видимо, здешний вулканизм весьма молод и от него еще можно ожидать новых проявлений.

Nature. 2001. V.409. №6822. P.808 (Великобритания); Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №3. P.2 (США).

Вулканология. Метеорология

Необычное облако над антарктическим островом

Грядя о-вов Баллени вытянута на 160 км вдоль Земли Виктории (Антарктида) и представляет собой южную оконечность подводного горного хребта, протянувшего-

¹ Тиде Йорн, Драчев С.С., Шевченко В.П. Экспедиция AMORE-2001 в Центральную Арктику // Природа. 2002. №5. С.47—51.

гося на север от Новой Зеландии. Самый южный из них — о.Стердж (длина 44 км). Извержений на нем не наблюдалось по крайней мере последние полвека. Из других островов группы вулканическая активность была отмечена на о.Баки (1839 и 1899) и на о.Янг (1839).

12 июня 2001 г. Ю.Даулинг (Eu.Dowling; Национальный центр по наблюдению за льдами, Вашингтон, США), изучая ледовую обстановку в море Росса по данным со спутников «NOAA-14, -15 и -16», обнаружила необычное облако размерами 20×200 км², нижний край которого нависал над о.Стердж. Его вершина находилась на высоте около 6 тыс. м, состояло оно в основном из замерзших паров влаги ($t \approx -53^\circ\text{C}$), а частиц пепла не содержало.

Информацию проанализировали специалисты Национального управления США по изучению океана и атмосферы, а также австралийские, американские и новозеландские ученые из Консультативного центра по наблюдению за взвешенным в атмосфере вулканическим пеплом. Сначала предположили, что это «флажок» (нередко встречающееся в горах образование, вытянутое над вершиной), возникший при формировании плотных перистых облаков. Однако вершина острова (1167 м над ур.м.) ниже пиков соседних островов Янг и Баки (1350 и 1239 м над ур.м. соответственно). Значит, «флажок» только над ним вряд ли мог возникнуть без вулканического воздействия. Однако никакие землетрясения, обычно сопровождающих извержение, в 100-километровом радиусе от о-вов Баллени с 6 по 20 июня 2001 г. зарегистрировано не было. И все же метеорологи, сейсмологи и вулканологи пришли к выводу, что необычное облако порождено активностью малоизвестного вулкана на о.Стердж. Сыграла свою роль и топография практически недоступной местности острова, сплошь покрытой ледником, таяние которого также обеспечивало облачность влагой.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2001. V.26. №5. P.2 (США).

**Археология.
Палеоклиматология**

Судьба гренландских викингов

Уже не один век специалисты пытаются ответить на вопрос о судьбе скандинавских колонистов, поселившихся в Гренландии более тысячи лет назад. Несмотря на многочисленные следы их пребывания на свободных ото льда берегах острова, причины исчезновения викингов оставались загадкой. В качестве гипотез назывались: их растворение среди более многочисленных аборигенов, предков современных эскимосов (иннуитов); резня, якобы устроенная местными жителями; эпидемия чумы, завезенной из средневековой Европы. Однако ни одно предположение не имело доказательств.

Несколько проясняют проблему результаты недавних раскопок, проведенных в заброшенном хуторе Нипаатсок, в 80 км к востоку от пос.Нуук (юго-запад Гренландии), группой датских археологов во главе с Е.Арнеборг (J.Arneborg; Национальный музей в Копенгагене). Было изучено около 2 тыс. предметов быта древних поселенцев, в том числе искусно изготовленные замки и ключи (аборигены не знали железа), табуреты из китовых ребер, деревянная (своих лесов на острове нет) прялка с 80 гирьками к ней — самое крупное подобное приспособление из когда-либо обнаруженных на севере Атлантики¹.

Нипаатсок, как и другие поселения Западной Гренландии, возник около 1000 г. Во времена расцвета здесь проживало приблизительно 1500 жителей — огромное количество даже для сегодняшней Гренландии. Однако 350 лет спустя поселок полностью обезлюдел (в южной части острова викинги жили еще примерно 100 лет). Шесть веков исчезнувшее поселение скрывалось под мощным слоем песка, принесенного ледником.

Теперь, вскрытое археологами, оно рассказало, что причиной ухода древних скандинавов стали изменения климата.

В середине XIV в. в Северном полушарии наступил малый ледниковый период, и жить в Гренландии, за исключением самых южных районов, стало невозможно. По мнению специалиста в области арктической археологии Ч.Швегера (Ch.Schweger; Университет провинции Альберта в Эдмонтоне, Канада), гренландские викинги пытались противостоять похолоданию, но сдались, когда язык ледника спустился в долину: каждое лето его частичное таяние увеличивало загрязнение питьевой воды и приносило все новые слои песка и гальки на поля и пастбища. (Сегодня край ледника находится примерно в 10 км от Нипаатсока.)

Ничто не свидетельствует о успешном бегстве. Почти все найденные предметы поломаны — люди, переселявшиеся организованно, просто бросили их за ненадобностью. Благодаря слою песка и вечной мерзлоте сохранились органические остатки: одежда из шкур, деревянные изделия. А вот цельных скелетов домашних животных, свидетельствующих об их гибели, нет — жители увели скот на новые места. Исход людей был мирным — никаких следов битвы не обнаружено, — так что гипотеза о столкновении с аборигенами отпадает. Найдено, правда, немало предметов, принадлежавших древним эскимосским охотникам и рыбакам. Однако все они захоронены в верхних слоях почвы, так как аборигены использовали Нипаатсок в качестве стоянки уже после того, как его бросили европейцы.

Единственный гренландский участник раскопок, археолог Й.Берглунд (J.Berglund) указывает, что архитектура жилищ викингов отвечала изменявшимся климатическим условиям: поначалу поселок состоял из отдельных землянок и полуземлянок, но за четыре века он постепенно превратился в одно большое жилище, разделенное на комнаты (их количество достигало 40), что позволяло экономить топливо.

Похолодание привело к сокращению стада коров и овец — им стало негде пастись. Анализ пищевых отходов и человеческих останков свидетельствует, что поселенцы все более переходили с продуктов земледелия и животноводства на рыбу и мясо тюленя. Местные ткачи стали примешивать к шерсти домашних животных значительные количества шерсти карибу (северного оленя), белых медведей, песцов и волков, что также говорит о переменах в укладе жизни, связанных с климатическими процессами. А в местной экономике играли роль иные факторы: с XIV в. европейцам стали доступны слоновьи бивни африканского происхождения, и закупка более дорогого моржового клыка — важнейшего предмета экспорта гренландских колонистов, шедшего на художественные поделки и украшения, — стала невыгодной.

В 1347—1350 гг. в Европе свирепствовала эпидемия чумы, которая унесла около трети населения. По ее окончании с окраин материка в центр двинулись потоки людей, привлеченных новыми экономическими возможностями. В условиях меньшей плотности населения в Европе гренландским викингам предоставилась альтернатива: одичать (жить, как местные эскимосы) или переехать в более теплую Исландию или на родину предков, в Скандинавию, сохранив таким образом европейский образ жизни.

Есть свидетельства, что последние белые поселенцы Гренландии отступили в Исландию. Некоторые историки полагают, что Колумб, совершая в 1480-х годах плаванье у исландских берегов, встречался с викингами и от них впервые услышал о существовании Америки, куда и направился осознанно десятилетием позже.

В любом случае изучение судьбы самого северного (и одновременно самого западного) европейского аванпоста проливает яркий свет не только на историю, но и на особенности поведения человека в изменяющихся природных условиях.

Science Times. 2001. May 8. P.5 (США).

¹ О скандинавских переселенцах см. также: Пирамиды принадлежат норманнам или иннуитам? // Природа. 2000. №8. С.77; Древние скандинавы в американском Заполярье // Там же. №12. С.79.

Радость познания

Л.Л.Киселев

академик РАН

Институт молекулярной биологии им. В.А.Энгельгардта РАН
Москва

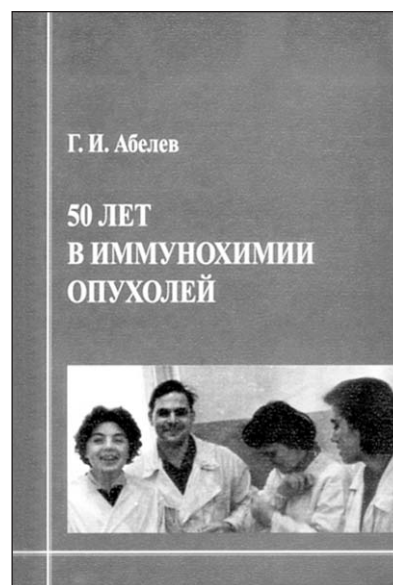
«Методы всю жизнь имели для меня совершенно особое значение...» Это первая фраза первой главы из небольшой по объему, но очень емкой по содержанию и блестящей по форме книги Г.И.Абелева, академика, лауреата премии «Триумф», одного из классиков современной иммунологии и иммунохимии. Эта фраза сразу же определяет стиль изложения, его направленность, и мне кажется, что привлекательность книги состоит именно в ее цельности, внутренней гармонии.

Научное творчество крайне индивидуально, как индивидуальны и непохожи друг на друга талантливые актеры — представители другой творческой профессии. В биологии одаренные люди также резко отличаются по способу действий и характеру научного мышления. Упомяну только двоих — нобелевского лауреата Ф.Крика и дважды нобелевского лауреата Ф.Сэнгера. Первый — образец мощи теоретика, мыслителя, аналитика, эрудита — вспомните об адапторной теории белкового синтеза, о генетическом коде, о двойной спирали ДНК. Второй — создатель двух фундаментальных методов современной молекулярной биологии и био-

химии — расшифровки первичной структуры белков и нуклеиновых кислот. Оба оказали огромное влияние на современную науку, но как бы с двух противоположных концов, если коротко — идеи и методы.

Бессмысленно обсуждать, что или кто главнее в этих двух формах проявления научного мышления — одно невозможно без другого, одно порождает другое. Новые идеи для своей экспериментальной проверки вынуждают создавать новые методы. Методы, постоянно развиваясь и совершенствуясь, позволяют делать новые наблюдения, нуждающиеся в новом теоретическом осмыслении.

Книга Абелева чрезвычайно интересна тем, что в ней на примере развития иммунохимии опухолей выпукло прослеживаются эти подчас достаточно непростые и опосредованные, но всегда сохраняющиеся взаимоотношения идеи и метода, их диалектика. Автор опирается на свой собственный, личный экспериментальный (более чем 50-летний!) опыт лабораторной работы. Более того, его работа принесла отечественной школе иммунохимии мировое признание, и поэтому мы четко видим и остро ощущаем, как работает мысль исследователя, что эта мысль велит делать рукам и как умные руки делают голову умнее.



Г.И.Абелев. 50 ЛЕТ В ИММУНОХИМИИ ОПУХОЛЕЙ.

М.: Российский онкологический научный центр им.Н.И.Блохина, 2001. 191 с.

Книга написана настолько точно и прозрачно, ярко и общедоступно, что возникает постоянный соблазн не столько ее обсуждать, сколько приводить из нее обширные цитаты, которые ни в каких комментариях не нуждаются. «Только те проблемы, к которым не было готовых методических подходов, казались мне по-настоящему интересными и стоящими. При этом меня привлекала не техническая сторона метода, а его разрешающая способность, возможность расчленить сложный многокомпонентный или чисто эмпирический феномен на составляющие, понятные или элементарные компоненты, т.е. решить изучаемую задачу. Разработать или найти разрешающий метод казалось мне всегда более важным и интересным, чем даже получить искомым результат» (с.8—9).

Я предвижу, что подобная декларация может вызвать у одних читателей недоумение, а у других даже протест. Разве цель науки не новое знание? Метод — лишь инструмент познания, а не само познание. Можно создать необыкновенно совершенную лопату, но все-таки главное — как с ее помощью выкопать из земли зарытый клад...

Кульм метода, нежелание работать «по протоколам», пронизывает всю книгу. Хорошо это или плохо? Вопрос риторический, праздный, на который уже дан (и давно) предельно четкий ответ: только новые методы дают возможность получить принципиально новые результаты, и только новые теории позволяют такие результаты осмыслить, ввести их в логическую канву науки, породить не новый феномен, а новое знание. Вся книга Абелева, от первой до последней страницы, — иллюстрация этого достаточно очевидного, но не всегда произносимого вслух тезиса.

Перечислю методы, обсуждаемые в первой главе: сепараторы; электронная микроскопия; иммунодиффузия (Абелев и его

сотрудники внесли огромный вклад в совершенствование и развитие этого метода); обратный локальный гемолиз, иммунофилтрация; изотахофорез; иммуноафинная электрохроматография; иммунодиагностика. Эти методы либо разрабатывались заново, либо уже имевшиеся серьезно модифицировались. Их развитие целиком определялось той глобальной научной задачей, которая стояла перед лабораторией — найти антигенные различия между нормальными и опухолевыми клетками. Это направление было создано Л.Зильбером, предложившим первый метод (анафилаксию с десенсибилизацией), позволивший обнаружить специфические опухолевые антигены (1948—1951). Затем оно было блистательно развито Абелевым и его сотрудниками сначала в отделе Зильбера (1955—1966), а после его смерти — в Институте эпидемиологии и микробиологии АМН (1967—1971) и в Онкоцентре (с 1972 по настоящее время).

Главы 2 и 3 посвящены α -фетопротеину — белку, сыгравшему особую роль и в научной биографии Абелева, и в развитии иммунодиагностики рака. В них обнажена логика научного поиска — то, что часто исчезает за строгим академичным изложением в научных публикациях. Между тем именно эта логика и отличает истинно творческую личность в науке от эпигонов, способных лишь следовать чужой логике и ее копировать.

Зильбер, Абелев и их коллеги были первопроходцами, они могли учиться только на своих ошибках и опираться только на свою интуицию и логику. Об этом прекрасно рассказано, это бесполезно пересказывать — надо прочесть.

Благодаря совершенным по тому времени методам удалось найти белок (антиген), обнаруживавшийся только в гепатоме, но не в печени взрослых мышей. Однако вскоре выяснилось, что этот белок (позже названный

АФП), встречается также в эмбриональных клетках и в сывротке эмбрионов в огромных по сравнению с гепатомой количествах. Иными словами, α -фетопротеин характерен и для эмбриональных тканей и для гепатом. Интересно, что эмбрионы были взяты в опыт просто как один из многих контролей, а совсем не с целью поиска эмбриоспецифических белков. В науке хороший контроль — половина успеха.

Открытие АФП, обнаруженное в 1962 г. на Всемирном противораковом конгрессе в Москве в присутствии всех ведущих онкоиммунологов, стало отправной точкой в изучении эмбриоспецифических антигенов, занявших важное место в современной биологии развития, онкологии, иммунологии и клеточной биологии. История 40-летнего изучения этого белка, предельно кратко описанная в книге, читается как увлекательный детектив, где точные опыты опровергают собственные гипотезы, а новые гипотезы для своей проверки требуют либо новых методов, либо модификации старых.

В 60-е годы, когда публикации отечественных ученых за рубежом требовали разрешений, согласований и не приветствовались, приходилось печатать статьи в «домашних» журналах. К сожалению, они обладали двумя огромными недостатками — не переводились на английский (большинство не имело даже резюме на английском языке) и поэтому информация была недоступна для остального научного мира, где господствовал (как и сейчас) английский; кроме того, объем журналов был невелик, типографский процесс долог и сложен, рецензирование крайне медленное. Абелев пишет о том, как его статья, содержащая приоритетные данные по АФП, пролежала в редакции «Вопросов медицинской химии» два года (!!!) — она была сдана в печать в 1965 г., а вышла в свет

только в 1967 г. Такая ситуация, сохранявшаяся вплоть до середины 80-х годов, стоила отечественной науке бесчисленных потерь приоритетов, изоляции от мировой науки и резкого снижения авторитета нашей науки за пределами страны.

Сегодня в восприятии медиков и биологов АФП — в первую очередь маркер гепатом человека, т.е. средство иммунодиагностики, широко применяемое в клинике. АФП — идеальный, классический пример того, как сугубо теоретическое, фундаментальное исследование (напомню, что Зильбер для доказательства вирусной теории происхождения рака сразу после войны начал поиск специфических антигенов опухолей, предполагая их вирусное происхождение) логикой своего развития привело к использованию обнаруженного явления в клинике, стало сугубо прикладным. Прекрасный урок тем, кто не осознает очевидной для любого ученого истины: любое практическое применение питается, вытекает из развития науки «антипрактической», истинно фундаментальной.

К счастью, строго и подробно написанная статья Абелева (*Cancer Research*. 1968. V.28. P.1344—1350) прочно закрепила за отечественной наукой приоритет в открытии и изучении АФП и его использовании в диагностике гепатоцеллюлярных карцином. Эта классическая работа до сих пор имеет огромный индекс цитирования. Можно только догадываться, как был бы счастлив Зильбер, доживи он до полного мирового признания работ своего любимого ученика, который посвятил эту книгу своему учителю.

Замечательно, что со времени открытия АФП как маркера гепатоцеллюлярного рака до выпуска надежного, общедоступного и дешевого диагностикума прошло всего несколько лет. В большинстве других случаев печальная отечественная практика свидетельствует о том,

что этот процесс может занять десятилетие и больше, а то и вообще кончиться ничем.

Широкая международная проверка в Африке, проведенная под эгидой Всемирной организации здравоохранения и Международного агентства по изучению рака, полностью подтвердила надежность АФП как диагностического маркера. Успех дорого обошелся Абелеву — он стал «невъездным», а его отдел подвергся гонениям. Дело не ограничилось полным прекращением научных контактов лаборатории Абелева с мировым научным сообществом. Была снята вакансия члена-корреспондента АМН, предназначавшаяся для Абелева. Не получил Государственной премии коллектив, впервые в мире создавший иммунодиагностический тест на рак (С.А.Абелев, Ю.С.Татаринов, Н.И.Переводчикова и др.), хотя исследователи прославили свою страну и отечественную науку. Молодые читатели, к счастью, малознакомые с советской госпартистской системой, могут прочитать об этом в книге.

Сейчас АФП-тест можно сделать в любой крупной больнице России, а также в любой стране мира. В Африке и Юго-Восточной Азии, где рак этой локализации широко распространен, тысячи людей, прошедших тестирование, наверняка не знают ни имени Абелева, ни других исследователей, которые проделали тернистый путь от первых наблюдений на мышах до рутинного диагностикума для людей.

Работы, связанные с АФП, по своему теоретическому и практическому значению далеко вышли за пределы одного органа или одной формы рака. Они дали мощный толчок, проложили путь к обнаружению других эмбриоспецифических и онкофетальных антигенов, а также органоспецифических антигенов (глава 4).

С 1980 г. существует Международное общество раково-эмбриональной биологии ISOBM

(International Society Oncodevelopmental Biology and Medicine), под эгидой которого проходят международные конференции, издается журнал. ISOBM официально считает своим истоком открытие АФП. Именно с него началась эра иммунодиагностики рака, которая продолжает набирать силу.

Размеры рецензии не позволяют обсуждать вопросы, хотя и кратко изложенные в главах 4 и 5, но первостепенные для онкоиммунологии. Не будем лишать читателя удовольствия самостоятельно познакомиться с этими главами, тем более, что их богатое содержание и телеграфный стиль изложения этому только способствуют.

Радость познания, несмотря на подчас мучительность этого длительного, фактически бесконечного процесса, столь глубока и доставляет ученому ни с чем не сравнимое удовольствие, что вполне естественно желание поделиться этими чувствами с другими, только начинающими свой путь в науке. Абелев в течение 38 лет читает курс лекций на биофаке МГУ, сначала по иммунохимии, а теперь он охватывает молекулярную и клеточную иммунологию. Об этом можно прочитать в 6-й главе, в которую органично включен рассказ о популяризации биологии, которой автор книги занимается давно и успешно.

Глава 7 посвящена научной этике и финансированию науки, вечной проблеме взаимоотношений между фундаментальной и прикладной наукой. Здесь очень четко сказано о самом главном — о необходимости сочетать для фундаментальной науки финансирование базисное и по гранту, о бессмысленности и вредности администрирования в науке, о попытках «руководства» фундаментальной наукой. Автор вспоминает о пике «административного восторга» в 70-е годы, когда командование наукой стало частью государственной политики.

В начале нового века эти тенденции опять дают о себе знать. Мы снова слышим о «концентрации усилий», о «дублировании», о борьбе с «распылением средств», о «реорганизации академий». Значит, эти страницы книги, увы, и сейчас актуальны, значит, за 30 лет, несмотря на смену политического строя, почти не изменились взаимоотношения науки и общества. По-прежнему отсутствует понимание того, что фундаментальная наука развивается по своим собственным, присущим ей законам, и логика ее не зависит ни от воли «руководящих кадров», ни даже от воли самих ученых. Она, а не приказы и постановления вышестоящих инстанций, диктует каждому из нас, какие опыты следует ставить и над какими проблемами биться. Именно поэтому во всех странах мира, где основу процветания создает бурно развивающаяся фундаментальная наука, ее финансирование всегда берет на себя государство и не перекладывает эти обязанности на кого-то другого.

Прикладная же наука, целиком питающаяся плодами фундаментальной, живет по совершенно другому закону, откликаясь на потребности общества, двигая вперед экономику за счет негосударственных источников финансирования. В России, как и раньше, сохраняется глубокое непонимание роли и места фундаментальной науки в обществе,

что катастрофически сократило научный потенциал страны за счет почти полного исчезновения из отечественной науки молодого (25–35 лет) и среднего (35–45 лет) поколений.

Рыночные отношения, усиленно внедряемые сейчас в науку в целом (а не в прикладную науку, где они оправданы), уже привели к тяжелым этическим проблемам. Источники финансирования все больше контролируются в явной или скрытой форме чиновниками, старшим поколением научной элиты, администрацией научных учреждений, фондов, министерств, а активно работающие ученые все меньше могут влиять на распределение тех скудных средств, которые еще выделяются государством.

Абелев вспоминает о том, как отдел, руководимый им в Институте им.Н.Ф.Гамалеи АМН, громил его тогдашний директор. Отдел удалось сохранить и перевести в Онкологический научный центр АМН благодаря солидарности, проявленной нашими выдающимися учеными В.А.Энгельгардтом, Б.Л.Астауровым, И.Г.Петровским, И.М.Гельфандом. Важную положительную роль сыграл и тогдашний директор Онкоцентра Н.Н.Блохин.

Абелев пишет о своих учителях в науке и в жизни — А.Н.Белозерском, у которого в студенческие годы начался его научный путь, и Зильбере, в отделе которого он прошел путь от

старшего лаборанта до заведующего лабораторией и доктора наук. Именно там было сделано открытие, которое останется навсегда в истории науки. Читая эти страницы, остро ощущаешь роль этической традиции, понимаешь, что роль наставника не сводится к обсуждению постановки опытов и их интерпретации (хотя это и обязательно), главное — научить жить в науке, следуя высоким примерам и будучи сам себе судьей. Зримая деградация этических норм в современной российской науке — проблема не менее острая и болезненная, чем нехватка финансирования. Поэтому чтение книги Абелева сейчас более чем актуально. Как ни парадоксально (а может быть, и закономерно?), в тоталитарном государстве нравственные ценности, в соответствии с которыми живет наука и ее сообщество, удалось сохранить, а в посттоталитарном они стремительно обесцениваются и научное сообщество даже не пытается этому противостоять.

Книга заканчивается полным перечнем публикаций лаборатории за 50 лет (1951–2001), включая тезисы, научно-популярные и публицистические статьи, что представляет ценность не только для иммунологов, онкологов, клеточных биологов, но и для интересующихся историей науки, изложенной одним из тех, кто эту историю и создавал. ■

Биохимия

БИОХИМИЯ. КРАТКИЙ КУРС С УПРАЖНЕНИЯМИ И ЗАДАЧАМИ. Под ред. Е.С.Северина и А.Я.Николаева. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2001. 448 с.

Биохимия, особенно биохимия человека, стремительно развивается и становится все более важной базой для изучения патогенеза болезней, раз-

работки методов их диагностики и лечения.

Болезнь, будь то сахарный диабет или атеросклероз, можно описать с разных точек зрения — морфологии (анатомии, гистологии), физиологии, в том числе биохимии. Последняя важна при изучении молекулярных основ строения отдельных клеток и всего организма в целом, па-

томорфологии и патофизиологии. Такой подход необходим для будущих врачей.

Учебное пособие состоит из двух частей. Одна из них — для самостоятельной работы, другая — для выполнения заданий на лабораторных занятиях. Материал структурирован по темам и удобен для усвоения. Курс предназначен для студентов медицинских вузов.

Океанология

В.С.Левин. КАМЧАТСКИЙ КРАБ: Биология, промысел, воспроизводство. СПб.: Ижица, 2001. 198 с.

Камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) — наиболее ценный представитель «восьминогих». Это чрезвычайно интересное морское беспозвоночное обитает на севере Тихого и Атлантического океанов. Вид, впервые описанный почти 200 лет назад, стал промысловым еще в начале XIX в. В прошлом столетии величина его вылова достигла огромных размеров — более 300 млн в год.

Наиболее серьезные изменения в распространении популяций и промысловых запасах камчатского краба произошли за последние 15 лет. К еще не вполне изученным вопросам биологии и этологии вида добавились экологические проблемы, возникшие в результате хозяйственной деятельности человека.

В книге рассматриваются систематика, морфология, распределение, особенности образа жизни и продукционные показатели камчатского краба. Специальный раздел посвящен состоянию промысла, воспроизводству и переселению популяций в другие регионы.

История науки

В.В.Синюков. АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ КОЛЧАК КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ АРКТИКИ. Отв. ред. А.Н.Чилингаров. М.: Наука, 2000. 325 с. (Научно-биографическая литература)

Александр Васильевич Колчак (1874—1920) — сложная, противоречивая, спорная и во

многом еще не раскрытая историческая личность. Он мечтал продолжить исследования, начатые Русской экспедицией Ф.Ф.Беллингаузена и М.П.Лазарева, в январе 1820 г. открывшей Антарктиду.

Колчак принимал участие в Русской полярной экспедиции 1900—1903 гг. как гидролог, картограф, гидрохимик и магнитолог, в тяжелых условиях выполнив всю намеченную программу. Он возглавил спасательный отряд, снаряженный для поисков начальника экспедиции Э.В.Толля, астронома Ф.Зееберга и двух поморов-проводников.

Широко известен опубликованный им фундаментальный труд по гляциологии «Лед Карского и Сибирского морей». По инициативе Колчака специально для научных исследований были построены суда «Таймыр» и «Вайгач». Под его командой последний в 1910 г. совершил плавание к Берингову проливу. Императорское географическое общество единогласно наградило Колчака Большой Константиновской золотой медалью (1906).

Автор книги рассказывает о научной деятельности Колчака, которая до сих пор не получила заслуженной оценки, так как жизнь Александра Васильевича была наполнена драматическими эпизодами, связанными с исключительно сложными и широко известными событиями политического характера.

В основу книги положены архивные документы, отражающие события, которые замалчивались несколько десятилетий и по существу составляют национальную гордость отечественной науки.

История науки

А.М.Блох. СОВЕТСКИЙ СОЮЗ В ИНТЕРЬЕРЕ НОБЕЛЕВСКИХ ПРЕМИЙ: Факты. Документы. Размышления. Комментарии. Под ред. проф. А.И.Мелуа. СПб.: Гуманистика, 2001. 608 с.

Альфред Бернхард Нобель (1833—1896) — шведский инженер-химик. Учредил премию, присуждающуюся ежегодно (с 1901 г.) за выдающиеся заслуги в области физики, химии, медицины и физиологии, литературы, а также за деятельность по укреплению мира.

Созданный шведскими академиком в 1900 г. устав Нобелевского фонда предопределяет полную независимость выбора нобелевских учреждений от давления извне. Это сделало нобелевские награды поистине феноменом 20-го столетия и одновременно восстановило против них тоталитарные режимы разных стран.

В книге освещается история отношений между руководством Советского Союза и Нобелевским фондом на основе анализа взятых из российских и шведских хранилищ уникальных архивных документов (их общее число выражается трехзначной цифрой), подавляющая часть которых до этого никогда не публиковалась.

Автор, доктор геолого-минералогических наук и историк, известен своими публикациями по нобелистике, неоднократно печатался на страницах нашего журнала. Им собраны новые факты по истории отечественной науки, а также из жизни и творческой деятельности ряда советских и иностранных ученых, писателей и политиков.

Мария Исидоровна Гольдсмит

Г.И.Любина,

кандидат исторических наук

*Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва*

Русский физиолог и психолог Мария Исидоровна Гольдсмит (1871–1939) принадлежит к числу женщин, которых принято называть первыми. Но тщетно искать ее имя среди знаменитых соотечественниц: химика Ю.В.Лермонтовой, доктора медицины Н.П.Сусловой, бактериолога П.В.Циклинской. После смерти друзей и единомышленников имя Гольдсмит на родине почти забылось. Причина в том, что вся творческая жизнь Марии Исидоровны прошла за пределами России.

В Париж ее привез отец, Исидор Альбертович Гольдсмит. Редактирование научно-философского журнала «Знание» (1870–1878) закончилось для него, кандидата права Петербургского университета, высылкой вместе с семьей сначала в Вологду, затем в Каменец-Подольский. В 1880 г. негласный надзор за Гольдсмитом был снят, но ему запретили въезд в обе столицы. Опасаясь новых преследований, он бежал за границу [1].

Мария Гольдсмит получила образование во Франции: в 1894 г. она окончила факультет естественных наук Парижского университета и работала в лаборатории известного французского биолога Ива Делая. Во время защиты докторской диссертации в Сорбонне (1915) Гольдсмит благодарила Делая за научное руководство

и за возможность работать в его лаборатории. Ее диссертация о физиологических и психологических реакциях у рыб была признана пионерской по использованию точных естественнонаучных методов в сравнительной зоопсихологии.

Сотрудничество с Делажем оказалось долгим и многое определило в жизни Марии Исидоровны. Она была его научным секретарем: занималась корреспонденцией, хлопотала о публикации его работ, вела переговоры с издательствами, редактировала и вычитывала рукописи, стала «глазами» своего ослепшего учителя. Она выполняла экспериментальную часть работы и представляла полученные результаты Делажу.

Из их сотрудничества родились совместные публикации. В 1909 г. в Париже вышла книга «Эволюционные теории», а в 1916-м — «Естественный и экспериментальный партеногенез».

Обе книги получили высокую оценку критиков. В числе достоинств были названы: четкость, ясность и краткость изложения, глубокий анализ всех предшествующих исследований и современного состояния проблемы, многообразие экспериментальных методов, заимствованных из арсенала исследовательских средств физики, механики, химии, биологии. В книге об эволюционизме авторы описали все разнообразные вариации этого течения — от ламар-



Мария Исидоровна Гольдсмит.

ковского трансформизма до воззрений самого последнего времени. И в дарвиновском учении они не увидели идеального завершения теории эволюции. Они поддерживали у английского натуралиста идею эволюционизма (трансформизма), чрезвычайно плодотворную для общего прогресса биологии, для раскрепощения человеческой мысли и становления новых научных дисциплин (антропологии и сравнительной психологии). Напротив, идея естественного отбора казалась им порочной: она послужила для оправдания внутривидового соперничества, давая якобы научное обоснование бездушному отношению к страданиям сла-

© Г.И.Любина



Диплом доктора естественных наук М.И.Гольдсмит. 1915 г.

бых и угнетенных, и «далеко не имеет права на нашу благодарность» [2].

Характерны ссылки авторов книги и ее рецензентов на работы П.А.Кропоткина о солидарности и взаимопомощи в мире живой природы. Авторитет русских биологов, особенно благодаря исследованиям И.И.Мечникова, о котором Делаж в 1910 г. писал, что «в настоящий момент в культурном мире нет более великого биолога, чем он», был очень высок. Гольдсмит представляла своим западным коллегам работы соотечественников. Она без труда могла ответить на вопрос, как относятся к «психологическому фактору» крупные российские физиологи и психологи, ей хорошо были известны труды И.П.Павлова, В.М.Бехтерева, В.А.Вагнера, И.П.Зеленого, она широко использовала их в своих работах.

Помимо книг совместно с Делажем были опубликованы статьи о новых методах психофизиологии (1916), о менделизме и цитологическом механизме наследственности (1919). Авторы предостерегали молодежь от увлечения спекулятивными и чисто формальными задачами и от

пренебрежения экспериментальной базой исследований.

Делаж передал Гольдсмит свое любимое детище — журнал «Биологический год», основанный им в 1895 г. В 1902—1924 гг. она была бессменным секретарем издания, много работала с провинциальными и зарубежными авторами, публиковала в журнале свои статьи.

В 1920 г. Делаж умер. Как «давняя и преданная сотрудница» Мария Исидоровна принимала соболезнования французских биологов и сама написала некролог. Она преклонялась перед универсальностью мысли ученого, с одинаковой легкостью проникавшей в сферы зоологии, психологии, биологии, философии, математики.

Большое разнообразие интересов свойственно для научного творчества Гольдсмит. Она писала по вопросам социологии, физиологии и психологии животных. Ее излюбленными темами были поиски биосоциальных параллелей в живой природе, изучение эволюционных процессов на всех этапах развития.

В книге «Сравнительный анализ психологии» (1927) Мария Исидоровна рассмотрела психи-

ческую жизнь от низших ступеней до высшей формы «умственной абстракции», показала непрерывность процесса на всех стадиях эволюции. О широте ее интересов свидетельствует переписка с петербургским биологом Вагнером. Они занимались сходными проблемами сравнительной зоопсихологии, обменивались публикациями и пользовались экспериментальными результатами друг друга для подтверждения собственных мыслей. Вагнер особенно ценил в работах Гольдсмит умение четко формулировать задачу и «безукоризненный метод».

В начале века Вагнер редактировал издание популярной литературы по биологии под общим названием «Новые идеи в биологии». Он видел в Гольдсмит автора статей по физиологии рыб, по сравнительной психологии, по партеногенезу. В 1911—1913 гг. Вагнер, в ту пору возглавивший биологическую редакцию в «Природе», предлагал Марии Исидоровне целый список тем, интересующих журнал: проблемы наследственности, регенерации и происхождения видов; общие вопросы биологии, медицины и физиологии, психологии, биохимии, биофизики. Он считал также, что ей подошел бы отдел научной хроники. Вагнер рассматривал свой журнал как «популярный, но без излишней популяризации в банальном смысле этого слова и не слишком академически сухой» и надеялся с помощью Гольдсмит представить читателю новых подающих надежды, но еще не завоевавших широкой известности зарубежных авторов. Мария Исидоровна представила Вагнеру работы французских коллег, опубликовала в 1913 г. статью о партеногенезе, но дело вскоре заглохло, поскольку в феврале того же года Вагнер ушел из журнала. В 1929 г. их переписка с Гольдсмит возобновилась. К этому времени книга Вагнера «Биологические основы сравнительной психологии»

выдержала на родине девять изданий. Получив в подарок от Марии Исидоровны ее книгу «Сравнительная психология», он очень похвалил автора, но усомнился в возможности перевода сочинения на русский язык, так как «психология, по мнению современного руководства издательского дела, устарела, ее следует заменить материализмом» [3]. Потерпела неудачу попытка Вагнера издать в России докторскую диссертацию Гольдсмит о психологии рыб: в феврале 1917 г. книгу начали набирать, но уже в августе Вагнер писал, что на горизонте маячит призрак гражданской войны и «наблюдается полное падение интереса к науке».

Благодаря сотрудничеству с Делажем имя Гольдсмит было широко известно западноевропейским биологам. Она публиковала результаты своих исследований в «Докладах Парижской академии наук», в «Бюллетене Института всеобщей психологии». Мария Исидоровна активно участвовала во многих научных конгрессах, выступала с публичными лекциями по биологии и социологии в Париже и других городах. В мае—июне 1930 г. она провела серию конференций в лаборатории физиологии на факультете медицины Парижского университета. Ее по заслугам оценили французские коллеги, избрав членом Зоологического общества Франции.

Не было, однако, никакого соответствия между очевидными научными успехами и социальным статусом Гольдсмит. Долгое время она перебивалась случайными заработками. Французское гражданство и диплом доктора наук давали ей право на профессорскую кафедру, но до 1927 г. Мария Исидоровна занимала скромную должность асси-

стента зоологии на естественном факультете Парижского университета. Летние месяцы она в качестве «командированного препаратора» из Сорбонны проводила на морской зоологической станции, которой в первые десятилетия XX в. руководил Делаж. В 1928 г. Гольдсмит стала преподавать зоологию в лаборатории экспериментальной психологии и сенсорной физиологии Практической школы высших знаний в Париже, но и это не принесло хорошего положения и необходимого достатка. Согласно французской «табели о рангах», должность конферансье не эквивалентна профессорской, она предполагает временную работу и скромную оплату. Чтобы обеспечить себя и больную мать, Марии Исидоровне приходилось все время хлопотать о дополнительных заработках.

Она была знакома с М.М.Ковалевским, по рекомендации которого взялась переводить на французский язык лекции Вагнера по социологии. Эта работа сблизил Гольдсмит с Кропоткиным.

Их знакомство завязалось в конце 90-х годов XIX в. в связи с переводом на русский язык книг Петра Алексеевича «Речи бунтовщика» и «Хлеб и воля». Гольдсмит и Кропоткина объединяли еще и общий интерес к изданию анархистской литературы, заботы о друзьях-эмигрантах, научные планы. Мария Исидоровна сохранила и пыталась издать в Париже адресованные ей письма Кропоткина, она переписывалась с его женой Софьей Григорьевной, встречалась с дочкой Сашей и внучкой Пьерой. После смерти Кропоткина Гольдсмит много хлопотала о сохранении его писем, собирала материалы и пересылала в Моск-

ву, где стараниями Софьи Григорьевны был создан Музей им.П.А.Кропоткина.

Анархизм в той форме, в какой исповедовал его Кропоткин, навсегда покорила Марию Исидоровну. Она много писала о М.А.Бакуanine и французском синдикальном движении. Гольдсмит вынашивала замысел книги о русском революционном движении, начиная с декабристов и кончая февральской революцией 1917 г. Мария Исидоровна оказалась в близком окружении идеолога русского народничества П.Л.Лаврова, часто бывала в его доме на ул.Сен-Жак, подружилась с дочерью Марией Петровной Негрескул. Вместе с Луи Рене Гольдсмит перевела на французский язык «Исторические письма» Лаврова, которые вышли в 1903 г., уже после смерти автора. Он поручил Марии Исидоровне заботы о парижской эмигрантской кассе. После революции 1905 г. за границу двинулся поток русских беженцев, многие из которых были небоеспособными и малообразованными людьми. Приходилось заниматься их обустройством, налаживать быт, подыскивать работу. Всеми этими делами вплоть до второй мировой войны занималась Гольдсмит.

Мария Исидоровна оставила большой архив: официальные документы, черновики и отписки своих статей, газетные вырезки, фотографии близких и знакомых. Он хранится в Государственном архиве Российской Федерации и содержит много любопытных материалов о научной, культурной жизни Франции и России конца XIX — первых десятилетий XX в.

Автор благодарит сотрудников ГАРФ Л.И.Петрушеву, И.В.Антипову и А.А.Литвина за помощь в работе. ■

Литература

1. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.5969. Оп.1. №151. Л.1—22.
2. Теория эволюции. Пг., 1916. С.248.
3. ГАРФ. Ф. 5969. Оп.1. №143. Л.59, 61.

Разные лекарства в одной капсуле

*Если вы думаете, что время — лучший
лекаррь, значит, вы никогда не сидели
в приемной врача.*

А.Минов

Успехи химии в создании новых лекарственных препаратов очевидны, но ее возможности далеко не исчерпаны. И вот химики вторгаются в ту область медицины, где до сих пор безраздельно правили медики. Недавние исследования показали, что химия может быть полезной в тех случаях, когда речь идет о приеме лекарств.

Вряд ли найдется человек, который скажет, что он любит принимать лекарства. Точно так же не отыщется и любитель гастроскопии — обследования, при котором необходимо глотать оптоволоконный кабель метровой длины. Есть и другие лечебные процедуры, например промывание желудка или клизма, по отношению к ним слово «любить» тоже звучит неуместно. Лекарства необходимы для выздоровления, а сама процедура приема чаще всего вызывает раздражение.

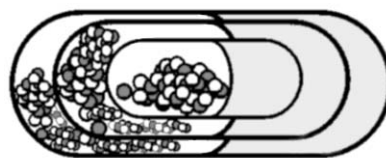
Покидая кабинет врача, пациент нередко держит в руках три, а то и четыре рецепта. Каждое приобретенное по ним лекарство нужно принимать в определенное время, одно — два раза в день до еды, другое — после еды и четыре раза. Например, прежде чем проглотить таблетку антибиотика, больной должен принять нистатин, который защитит от вредного действия этого антимикробного препарата кишечную флору, иначе неизбежны запоры. Бывают и более сложные комбинации лекарств, и они становятся причиной беспокойств. Особенно трудно приходится пожилым людям — они постоянно пугаются, что приняли либо не то лекарство, либо — в неурочное время. А уж для лечения гомеопатическими препаратами необходимо очень точно соблюдать интервалы времени, что вынуждает больных пользоваться таймером или постоянно перенастраивать будильник.

Нельзя ли устранить подобные неприятности?

Кандидат химико-биологических наук Г.И.Пократов, имевший к тому же опыт работы лечащего

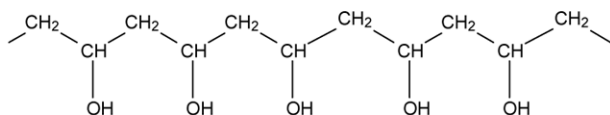
врача, давно заметил, что наборы выписываемых лекарств довольно стандартны, причем нужды 95% всех больных можно удовлетворить одним из десяти основных вариантов. Г.И.Пократов попытался сделать так, чтобы прием нескольких лекарств был одномоментным и одноразовым (хотя бы в течение суток), а порядок их воздействия на организм регулировался автоматически. Решение подсказала современная фармацевтическая промышленность, выпускающая некоторые лекарства (чаще всего очень горькие) в желатиновых капсулах: они растворяются в желудке и препарат высвобождается. Если капсулу сделать толще, она, естественно, сохраняется дольше. В такие капсулы обычно «упаковывают» лекарства, раздражающие слизистую оболочку желудка. В этом случае они в целостности доходят до кишечника и растворяются там.

Основная идея бывшего лечащего врача состояла в том, чтобы изготавливать многослойные капсулы, а для этого необходим материал с регулируемой скоростью растворения. Упомянутый

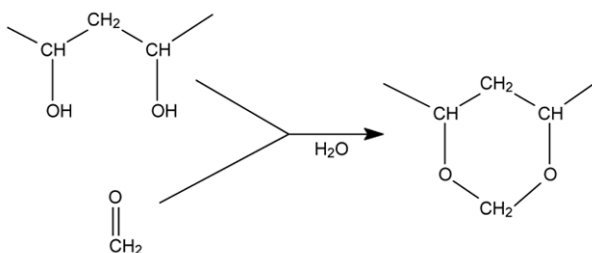


желатин на такую роль мало пригоден: если увеличить толщину стенки капсулы, то либо она станет слишком объемистой и ее трудно будет глотать, либо внутри не останется места для необходимой дозы лекарства.

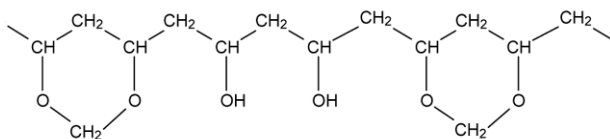
В поисках нужного материала Г.И.Пократов обратился к водорастворимым полимерам. Более всего удовлетворял требованиям поливиниловый спирт — полимер, у которого углеводородная цепь имеет в боковом обрамлении гидроксильные группы:



Этот спирт абсолютно безвреден, прекрасно растворим в воде из-за наличия большого количества гидроксильных групп и образует прочные пленки и волокна. Чтобы понизить его растворимость, доктор использовал известную реакцию ацеталирования. При взаимодействии поливинилового спирта с альдегидами (в данном случае с формальдегидом) в структуре полимера возникают ацетальные группировки $\equiv\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}\equiv$:



В результате возникает полимер, у которого часть гидроксильных групп заменена ацетальными:



Чем больше гидрофобных (водоотталкивающих) ацетальных групп, тем медленнее растворяется полимер. Вводя в реакцию строго дозированное количество формальдегида, можно очень аккуратно регулировать длительность растворения полимерной пленки.

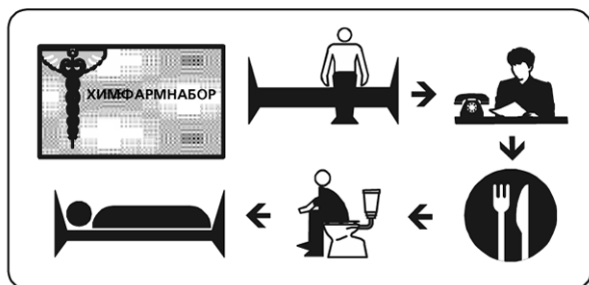
Далее последовала кропотливая работа, в результате которой автор идеи смог контролировать время растворения пленки с точностью до нескольких минут.

Как только удалось решить эту задачу, доктор Г.И.Пократов приступил к изготовлению упаковок для лекарств. Необходимые наборы препаратов и правильную их очередность он к этому времени знал уже довольно хорошо.

Убедившись в плодотворности своей идеи, он обратился за ее промышленным воплощением в лабораторию новых лекарственных форм, входящую в объединение «Химфармапанация». Первые опытные образцы прошли клинические испытания, результаты превзошли все ожидания. Легко представить человека, который утром тяжело просыпается, в первой половине дня чувствует вялость, днем у него нет аппетита, после ужина — трудности с опорожнением кишечника, а вечером — с засыпанием. Обычный букет проблем для человека, работающего в конторе или офисе. Доктор Г.И.Пократов предлагает таким пациентам всего одну многослойную капсулу, в которой заключены тонизирующее средство, лекарство для повышения аппетита, слабительное, снотворное и возбуждающий препарат для быстрого пробуждения. Толщина оболочки для каждого ингредиента точно рассчитана и потому, приняв такую капсулу один раз в сутки — утром, офисный страдалец обретает активность, с удовольствием ест, имеет нормальный стул, прекрасно спит и легко просыпается. Широко известна шутка Михаила Жванецкого: «Вы не пробовали принимать слабительное вместе со снотворным? Очень интересный эффект!» При использовании многослойных капсул любые неприятности исключены, и вариант Жванецкого никак не может реализоваться.

В случае если в композицию входит четыре или более лекарств, возникает одна трудность: не успевшая полностью раствориться многослойная капсула выйдет из кишечника, унося с собой препарат, находившийся во внутреннем слое. Как задержать весь комплект на определенное время? Небольшим усовершенствованием удалось решить и эту проблему. В полимерный слой внутренней капсулы нужно добавить незначительное количество магнитного оксида железа (абсолютно безвредного), а пациента снабдить небольшим поясом с магнитной пластиной. Надев его на живот, человек может ни о чем не беспокоиться, лекарство поступит в желудок (или кишечник) в нужный момент. При желании магнитный пояс можно вообще не снимать, на другой день после приема очередной капсулы он продолжит свою работу.

Люди, прошедшие курс лечения такими капсулами, были в восторге. Многие ощущали, будто чья-то заботливая рука снимала все проблемы. У некоторых возникало чувство, что их организм живет по внутренним часам, с очень удобным порядком дня. Самое главное, что приобретенный ритм сохраняется долгое время после окончания лечения.



В январе этого года доктор Г.И.Пократов получил авторское свидетельство на свое изобретение и зарегистрировал торговое название — ® «ХИМФАРМНАБОР». Вначале намечено выпустить пять наиболее употребимых комплектов, которые поступят в продажу под условными номерами. К упаковке будет прилагаться полное описание всего содержимого, но, чтобы потребитель чувствовал себя уверенно и не ломал голову над загадочными латинскими названиями ингредиентов, на этикетке предполагается изображать стадии действия капсулы в форме идеограмм — простых и понятных рисунков-символов. Со временем лаборатория намерена расширить ассортимент и даже изготавливать комплекты по индивидуальным заказам.

Доктор Г.И.Пократов рассказал, что в процессе клинических испытаний получено много инте-

ресных советов, а порой и весьма оригинальных пожеланий от пациентов. Некоторые, например, предлагали сочетать препарат для снятия скованности в общении с малознакомой собеседницей и широко известную виагру. Другие хотели иметь набор, который можно принять перед праздничным застольем, чтобы одним лекарством предотвратить агрессивность и необдуманные поступки, а другим — снять синдром похмелья через восемь часов. Пациенты юного возраста просили приготовить комплекты из трех ингредиентов для своих взрослых домочадцев: первый должен снизить у них порог слышимости, и тогда их не будет раздражать громкая рок-музыка; второй — отключить память, побуждающую делать различные замечания, вроде «готовь уроки», «приберись в комнате»; третий — усилить жажду деятельности и тягу к самостоятельному походу в магазин за продуктами.

На вопрос, любите ли вы принимать лекарства, все пациенты Г.И.Пократова ответили утвердительно. Несомненно, что его изобретение войдет в медицинскую практику, а пока любой желающий приобрести необычный еще комплект лечебных препаратов в одной капсуле может обратиться по адресу: *Москва, ХИМОФАРМАПАНАЦЕЯ, лаборатория новых лекарственных форм; кандидат химико-биологических наук Г.И.Пократов (e-mail: gipokrat@shutka.ru)* ■

© М.М.Левицкий

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
П.А.ХОМЯКОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:
Президиум РАН,
Издательско-производственное
и книготорговое
объединение «Наука»
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 15.05.2002
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 6064
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6