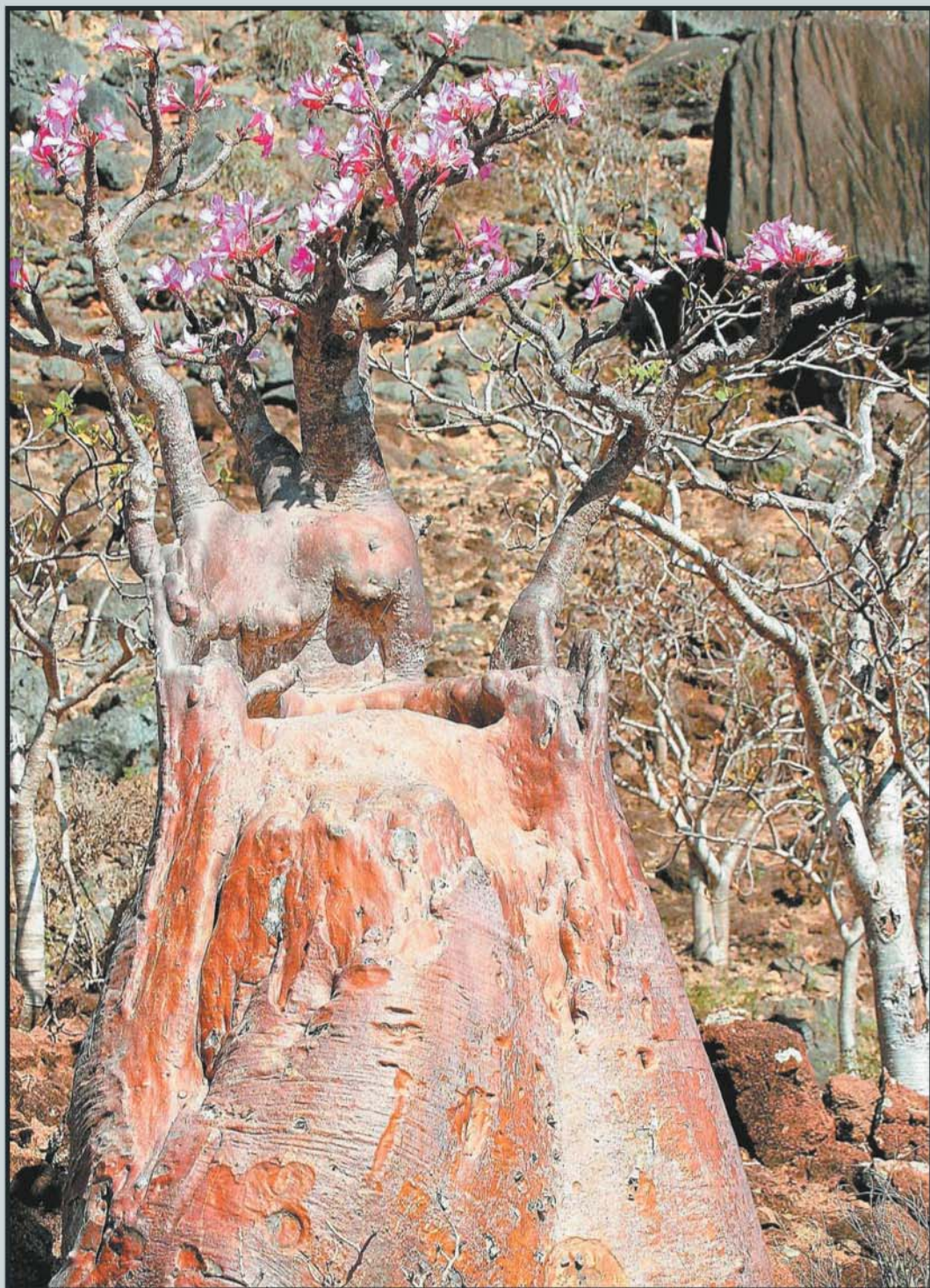


ПРИРОДА

7 09



В НОМЕРЕ:**3 Ковальзон В.М.****Обучение и сон**

Вопросы о том, насколько связаны различные виды памяти со структурой естественного сна, до сих пор не имеют однозначного ответа. Новейшие исследования в этой области говорят о важнейшей роли сна в процессах обучения.

12 Штыков С.Н.**Организованные среды — мир жидких наносистем**

Когда химиков перестали удовлетворять традиционные растворители, они создали микрогетерогенные организованные среды. Эти системы, состоящие из растворителя и распределенного в нем огромного числа (10^{16} – 10^{18}) наноразмерных псевдофаз, проявляют необычные свойства и применяются в разных областях науки и в технологиях.

21 Суворов А.Н.**Полезные микробы — кто они?**

О пользе продуктов и препаратов, содержащих молочнокислые бактерии, говорил еще И.И.Мечников и теперь навязчиво кричит реклама. Насколько же молва о пробиотиках и разнообразных йогуртах, а также о дисбактериозе кишечника соответствует современным научным представлениям?

31 Митин А.В.**Сверхпроводящие наноканалы выше комнатной температуры**

Несмотря на впечатляющие успехи в исследовании сверхпроводящих купратов, главный вопрос — реализуемо ли в них сверхпроводящее состояние при температурах выше комнатной — остается открытым. В поисках ответа может помочь изучение природы так называемых псевдоцелевых аномалий.

42 Ляхницкий Ю.С.**Палеолитическая живопись Каповой пещеры: полвека после открытия**

В этой трехэтажной южноуральской пещере длиной около 3 км и высотой 165 м биолог А.В.Рюмин 50 лет назад впервые увидел на стене красноватые пятна, оказавшиеся палеолитическими рисунками. Проведенные работы позволили выявить к настоящему времени 175 изображений.

56 СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ НА ЮГЕ БАЙКАЛА**Култукское землетрясение (56)**

Семенов Р.М., Смекалин О.П., Оргильянов А.И.

Байкал предупреждал о приближении землетрясения (64)**Вести из экспедиций****68 Амирханов Х.А., Жуков В.А., Наумкин В.В., Седов А.В.****Эпоха олдована открыта на острове Сокотра****75 Новости науки**

Раскрыта загадка рентгеновского излучения Галактики (75). Две черные дыры вот-вот сольются (76). Метановые ливни на Титане (76). Нанотрубки взвешивают отдельные атомы (76). Технологичный графен (77). Современные движения Горного Алтая (77). Подводный вулкан на суше (78). Пресноводный папоротник изменил климат. Чудов С.В. (79). «Разыскание древностей посредством земляных раскопок» (80).

Рецензии**81 Зубрева М.Ю.****Открывший мир, в Европе неизвестный**

(на кн.: Сумашедов Б.В. Распятый в дебрях. Владимир Арсеньев. Судьба странника)

83 Новые книги**Встречи с забытым****85 БЫВАЮТ СТРАННЫЕ СБЛИЖЕНИЯ...**

Стечкин Б.С.

Подходит крейсер — неизвестно какой

Из фотографической семейной хроники (85)

Шилов Н.А.

Лаборатория профессора Резерфорда

Письмо из Манчестера (92)

CONTENTS:

3 Kovalzon V.M.

Learning and Sleep

The problem of relationships of different types of memory with the structure of natural sleep up to now has not unambiguous solution. New research in this field indicates an utmost importance of sleep in learning processes.

12 Shtykov S.N.

Organized Mediums – the World of Liquid Nanosystems

When chemists grow dissatisfied with traditional solvents, they created microheterogenous organized mediums. These systems, consisting of a solvent and a huge number (10^{16} – 10^{18}) of nanoscale pseudophases dispersed in it, exhibit unusual properties and are used in different fields of science and technology.

21 Suvorov A.N.

Useful Microbes – What Are They?

Benefits of foods and additives containing lactobacilli were advocated long ago by I.I. Mechnikov, and now they are busily advertised. To what extent the popular image of probiotics and various yogurts, as well of intestinal dysbacteriosis, conforms to the current scientific views?

31 Mitin A.V.

Superconducting Nanochannels above Room Temperature

Impressive advances in study of superconducting cuprates have not yet resolved the main problem: does superconducting state exist in these materials above room temperatures? In looking for the answer, a study of the nature of so-called pseudogap anomalies can help.

42 Lyakhnitsky Yu.S.

Palaeolithic Drawings of Kapovaya Cave: Half a Century after Discovery

In this three-tier south Ural cave 3 km long and 165 m in height a biologist A.V.Ryumin 50 years ago for the first time observed reddish spots on a wall, that turned out to be palaeolithic drawings. The following study allowed now reveal 175 images.

56 SEISMIC EVENT AT SOUTHERN BAIKAL

Kultuk Earthquake (56)

Semenov R.M., Smekalin O.P., Orgilyanov A.I.

Baikal Has Warned about Forthcoming Earthquake (64)

Notes from Expeditions

68 Amirkhanov Kh.A., Zhukov V.A., Naumkin V.V., Sedov A.V.

Oldovan Age Discovered at Sokotra Island

75

Science News

Mystery of Galactic X-Rays Disclosed (75). Two Black Holes Are on Collision Course (76). Methane Showers at Titan (76). Nanotubes Weight Single Atoms (76). Technological Graphene (77). Contemporary Tectonic Movements at Altai Mountains (77). Submarine Volcano on a Land Site (78). Fresh-Water Aquatic Fern Changed Climate. Chudov S.V. (79). «Search for Antiquities by Means of Earth Digging» (80).

Book Review

81 Zubreva M.Yu.

Discoverer of a World Unknown in Europe

(on a book: Sumashedov B.V. Crucified in Jungle. Vladimir Arsenev. Destiny of a Wanderer)

83

New Books

Encounters with Forgotten

85 STRANGE COINCIDENCES HAPPEN...

Stechkin B.S.

Cruiser Is Approaching – an Unknown One.

From Photographical Family Archive (85)

Shilov N.A.

Laboratory of Professor Rutherford

A Letter from Manchester (92)

Обучение и сон

В.М.Ковальзон

Влияние сна на обучение и память — один из интригующих аспектов нейробиологии XXI в. Возможно ли обучение во сне? Можно ли улучшить обучение чему-либо, воздействуя на сон, следующий после сеанса обучения? Связаны ли различные виды памяти со структурой естественного сна? Все эти вопросы бурно обсуждаются в текущей научной и научно-популярной литературе, при этом высказываются прямо противоположные мнения. Мы предлагаем читателю кратко ознакомиться с некоторыми новейшими достижениями науки в этой области, но прежде напомним, что такое процесс сна и что такое память — важнейший фактор обучения.

Что такое «сон»?

Поведение млекопитающих, включая человека, состоит из двух чередующихся периодов — активности и покоя. В первом происходит обучение и реализуется врожденное и приобретенное поведение, а во втором организм может находиться в одном из трех состояний: спокойного бодрствования, обычного (медленного, или медленноволнового) и парадоксального (быстрого) сна. Согласно современным представлениям, сон — это отнюдь не монотонное отключение от внешнего мира, период пониженной реактивности и пр., а *особое генетически детерминированное со-*



Владимир Матвеевич Ковальзон, нейробиолог, специалист по экспериментальному изучению сна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН, председатель секции сомнологии Физиологического общества им. И.П.Павлова, автор более 100 научных и 30 научно-популярных статей. Неоднократно публиковался в «Природе».

стояние организма теплокровных животных (млекопитающих и птиц), характеризующееся закономерной последовательной сменой определенных полиграфических картин в виде циклов, фаз и стадий. Под полиграфией в данном случае подразумевается одновременная параллельная регистрация нескольких физиологических показателей: активности головного мозга (электроэнцефалограмма, ЭЭГ), глазных яблок (электроокулограмма, ЭОГ) и мышц затылка (электромиограмма, ЭМГ). Понятия циклов, фаз и стадий — это те три «кита», на которых строится все здание современной сомнологии* (рис.1).

Цикл ночного сна — это полуторачасовой (у взрослого человека) период, за время которого спящий последовательно проходит четыре стадии, начиная от дремоты (стадия 1) и за-

канчивая наиболее глубоким, так называемым дельта-сном (стадии 3 и 4), составляющие в сумме фазу обычного сна, которая затем резко сменяется фазой парадоксального сна. После окончания фазы быстрого сна (именно в ней человек видит сны**) начинается новый цикл сна либо человек пробуждается. За ночь человек «проходит» через 4—6 циклов, которые имеют разную структуру. В первую половину ночи преобладает глубокий дельта-сон, а под утро — легкий сон (стадия 2) и фаза быстрого сна (рис.2).

Каждая стадия фазы медленного и быстрого сна имеет свои электрографические черты, по которым ее можно опознать у людей и животных (рис.2). Так, бодрствование отличается низковольтной быстрой неорганизованной активностью, которая при расслаблении сменяется

* Подробнее см.: Ковальзон В.М. Природа сна // Природа. 1999. №8. С.172—179.

** См. также: Ковальзон В.М. Необычные приключения в мире сна и сновидений // Природа. 2000. №1. С.12—20.

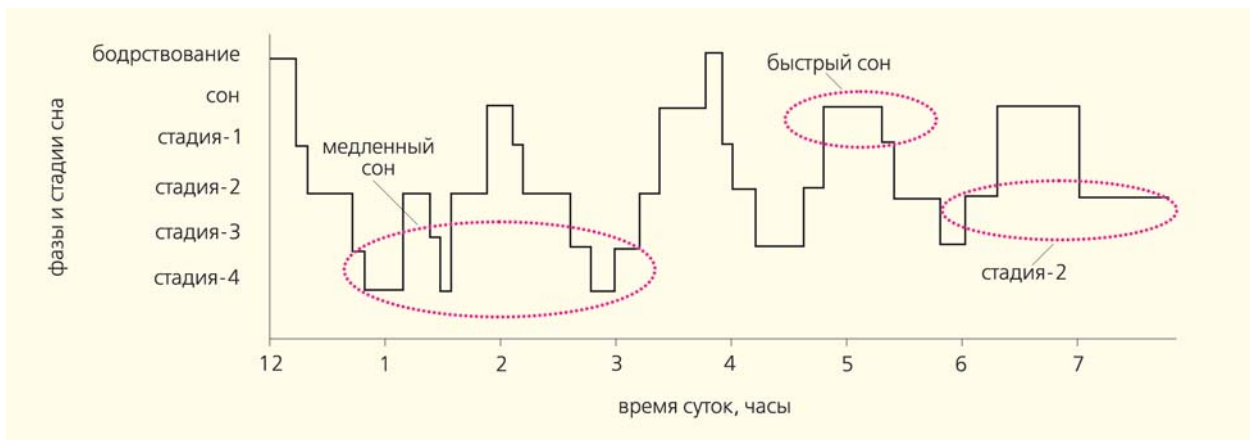


Рис.1. Циклы, фазы и стадии ночного сна человека [7].

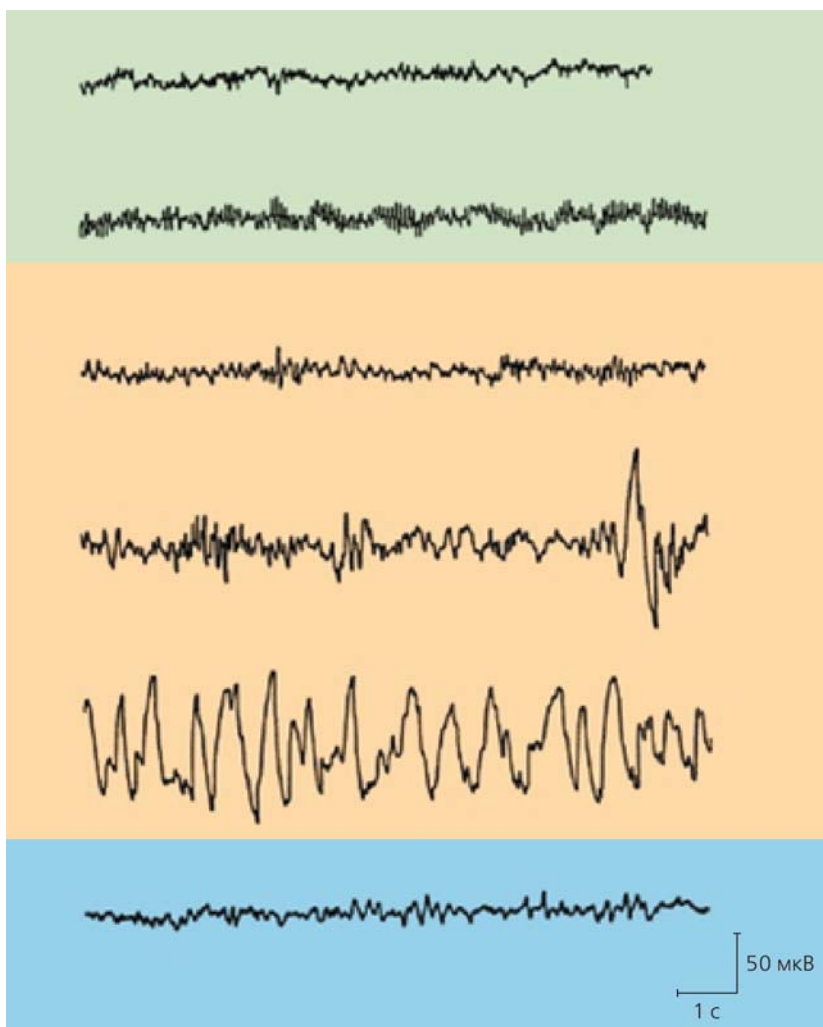


Рис.2. Электрическая активность головного мозга человека (электроэнцефалограмма, ЭЭГ) в цикле бодрствование—сон. Сверху вниз, зеленый фон: бодрствование с открытыми глазами, бодрствование с закрытыми глазами; желтый фон: фаза медленного сна, стадия 1, стадии 2 и 3, сонное веретено, стадия 4 (сон с медленными волнами); голубой фон: быстрый сон (<http://www.sleephomepages.org/sleepsyllabus>).

у некоторых людей альфа-ритмом 8—12 Гц. Для стадии 1, переходной между бодрствованием и сном, характерны так называемые тета-волны в ЭЭГ (небольшие волны частотой 3—7 Гц); для стадии 2, легкого, поверхностного сна, — веретена и К-комплексы (12—14 Гц), для дельта-сна, глубокого сна, — медленные (0.5—2 Гц) волны повышенной амплитуды. В быстром сне ЭЭГ мало отличается от бодрствования, хотя иногда видны небольшие пилообразные разряды, которые отсутствуют в бодрствовании. Однако главное отличие — характерная активность в электроокулограмме, так называемые быстрые движения глаз, которые никогда не встречаются в фазе медленного сна (поэтому быстрый сон называют еще сном с быстрыми движениями глаз), а также полное исчезновение активности в электромиограмме.

Система регуляции бодрствования—сна весьма сложна, но к настоящему времени изучена довольно хорошо [1, 2]. Она включает в себя четыре ключевых механизма: бодрствования, медленного сна, быстрого сна и внутрисуточной ритмики. Прямое изучение нейронов, вовлеченных в регуляцию сна—бодрствования, проведенное во второй половине XX в., показало, что нормальная работа коры головного мозга, обеспечивающая весь спектр сознательной деятельности человека в бодрство-

вании, возможна только при наличии тонических мощных воздействий со стороны определенных подкорковых структур, называемых активирующими. Благодаря этим воздействиям мембрана большинства кортикальных нейронов в бодрствовании деполяризована на 5–10 мВ по сравнению с потенциалом покоя (–65/–70 мВ). Только в состоянии *тонической деполяризации* нейроны способны обрабатывать и отвечать на сигналы, приходящие к ним от других нервных клеток. Таких систем тонической деполяризации, или активации мозга (условно — центров бодрствования), как сейчас ясно, около десятка. Расположены они на всех уровнях мозговой оси: в ретикулярной формации ствола, в области синего пятна и дорзальных ядер шва, в заднем гипоталамусе и базальных ядрах переднего мозга (рис.3). Нейроны этих отделов мозга в качестве молекул-передатчиков выделяют глутаминовую и аспарагиновую кислоты (глутамат, аспарат), ацетилхолин, норадреналин, дофамин, серотонин и гистамин.

Казалось логичным предположить, что если в мозге есть центры бодрствования, то должен быть и центр сна. Действительно, после долгих усилий такой центр обнаружили у основания мозга, в так называемом вентролатеральном преоптическом ядре гипоталамуса (рис.4). Там находится небольшая группа нейронов, которые слабо разряжаются или вообще «молчат» при бодрствовании и быстро спят, но чрезвычайно активны при медленном. Все они выделяют один и тот же химический посредник — гамма-аминомасляную кислоту, главное тормозное вещество мозга. Стоит только активирующим нейронам по каким-то причинам ослабить свою активность, как тут же включаются тормозные нейроны и снижают ее еще больше. Так постепенно сон углубляется, пока не срабатывает расположенный в гипоталамусе меха-

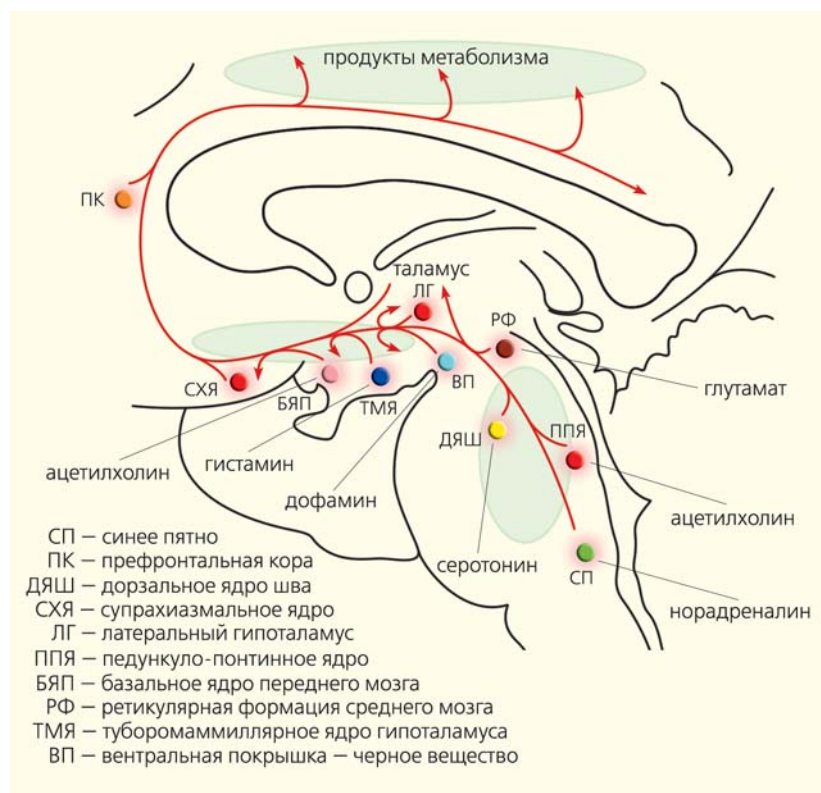


Рис.3. Центры бодрствования в головном мозге человека. Схема сагиттального (вертикального продольного) среза мозга человека, на который нанесены области мозга и соответствующие нейромедиаторы, а также пути, вовлеченные в генерацию и поддержание бодрствования. Активация ядер таламуса и гипоталамуса вызывает прямо или косвенно активацию коры, а также всего мозга, необходимую для запуска и поддержания состояния бодрствования. Стрелками показан выход продуктов метаболизма [2].

низм переключения (триггер) и вся система перебрасывается в другое состояние — либо бодрствования, либо парадоксального сна.

Прямая регистрация импульсной активности нейронов коры мозга в экспериментах на лабораторных животных показала, что в бодрствовании, в состоянии тонической деполяризации, характер разрядов клеток высоко индивидуализирован. Но по мере углубления сна он коренным образом меняется — близлежащие нейроны объединяются и начинают разряжаться «хором»; при этом условия для переработки информации в мозге резко ухудшаются. Такие нейрофизиологические феномены хорошо коррелируют с известными данными об отключении

сенсорных и двигательных систем и постепенном торможении психической активности по мере углубления сна у человека.

Если бодрствование по нейронной активности можно описать как состояние тонической деполяризации, то обычный сон есть состояние *тонической гиперполяризации*. При этом направление основных ионных потоков, формирующих потенциал мембраны нейрона и участвующих в проведении нервного импульса (катионов натрия, калия, кальция, анионов хлора, а также важнейших макромолекул) — из клетки во внеклеточную жидкость и обратно — меняется на противоположное. Таким образом, в медленном сне мозговая гомеостаз, нарушенный в ходе многочасового пред-

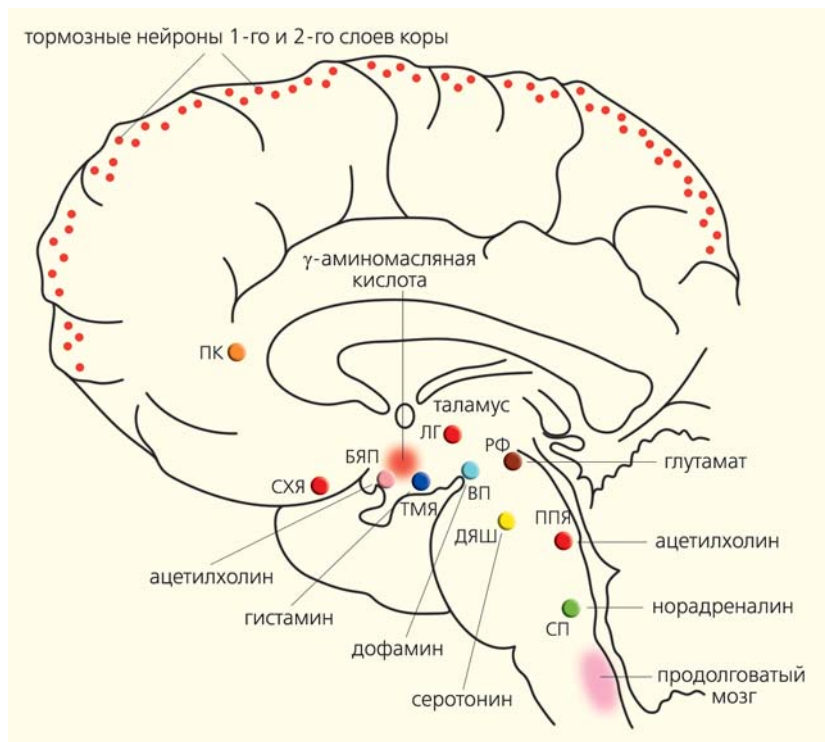


Рис.4. Центр сна в головном мозге человека. Сон начинается с того, что представленные центры бодрствования ослабляют свою активность. Из-за этого тормозные нейроны (показаны точками), синтезирующие γ -аминомасляную кислоту и пептид галанин, которые находятся в переднем гипоталамусе и преоптической области, запускают состояние медленного сна. Далее эти тормозные нейроны, активировавшись, тормозят нейронную активность центров бодрствования (сокращения — см. предыдущий рисунок); дополнительно включаются тормозные ГАМКергические нейроны 1-го и 2-го слоев коры, а также нейроны одиночного ядра в продолговатом мозге, поддерживая состояние медленного сна [2].

шествующего бодрствования, восстанавливается. С этой позиции бодрствование и обычный сон — как бы две стороны одной медали. Периоды тонической деполаризации и гиперполяризации должны периодически сменять друг друга для сохранения постоянства внутренней среды головного мозга и нормальной работы таламокортикальной системы (субстрата высших психических функций человека). Это означает подтверждение старого как мир, но почему-то забытого правила: без хорошего сна не может быть хорошего бодрствования!

Совершенно иначе обстоит дело с парадоксальным сном, имеющим ярко выраженную активную природу [3]. Парадокс-

сальный сон запускается из четко очерченного центра, расположенного в задней части мозга, в области варолиева моста и продолговатого мозга. Химическими передатчиками сигналов этих клеток служат ацетилхолин и глутаминовая кислота. Во время парадоксального сна клетки мозга чрезвычайно активны, однако информация от «входов» (органов чувств) к ним не поступает и на «выходы» (мышечную систему) не подается. В этом и заключается парадоксальный характер такого состояния, отраженный в его названии. Видимо, в парадоксальном сне интенсивно перерабатывается информация, полученная в предшествующем бодрствовании и хранящаяся в памяти. Согласно

гипотезе классика сомнологии М.Жуве, в парадоксальном сне происходит каким-то непонятным пока образом передача наследственной, генетической информации, имеющей отношение к организации целостного поведения, в нейробиологическую память. Подтверждением таких интенсивных психических процессов служат в парадоксальном сне эмоционально окрашенные сновидения у человека*. Кроме того, Жуве с соавторами обнаружили, а американский ученый Э.Моррисон с соавторами детально проанализировали феномен сновидений, переживаемых лабораторными кошками и крысами после разрушения одной крошечной точки в задней части мозга, снимающей двигательное торможение в состоянии парадоксального сна.

В 80-е годы обнаружили, что в парадоксальном сне чрезвычайно активны нейроны, которые выделяют ацетилхолин и глутамат (они расположены в ретикулярной формации ствола и базальных ядрах переднего мозга). Нейроны же моноаминергических активирующих систем, выделяющих в качестве химических передатчиков моноамины (норадреналин, серотонин и гистамин), выключаются и «молчат». Этот фундаментальный факт определяет физиологическое различие между бодрствованием и парадоксальным сном, а на психическом уровне — различие между нашим восприятием внешнего мира и восприятием мира воображаемого, мира сновидений.

В последние годы огромный интерес исследователей привлекает еще одна система мозга, играющая важнейшую роль в регуляции биоритмов и состояний сна—бодрствования: это эпифиз (верхний придаток мозга) и секретируемый им гормон мелатонин**. У млекопитающих эпи-

* См. также: Ковальзон В.М. Необычайные приключения в мире сна и сновидений // Природа. 2000. №1. С.12—20.

** Ковальзон В.М. Мелатонин — без чудес // Природа. 2004. №2. С.12—19.

физ (его еще называют «третьим глазом» у холоднокровных позвоночных и птиц) утратил как способность непосредственно реагировать на свет, так и прямые нервные связи с остальным мозгом, и превратился в железу внутренней секреции. У человека эта железа особенно активна в раннем возрасте, когда, видимо, ее основная функция — торможение гормонов передней доли гипофиза. В более зрелом возрасте на первый план выходит другая особенность этой железы — ее способность синтезировать и выделять гормон мелатонин. Такой выброс происходит в строгом соответствии с внешней освещенностью, информация о которой поступает от сетчатой оболочки глаз через зрительный нерв к супрахиазмальным ядрам преоптической области переднего гипоталамуса. От супрахиазмальных ядер — «биологических часов» организма — импульсы поступают в «вегетативный центр» мозга, расположенный в медиальном гипоталамусе; затем по проводящим путям через ствол и продолговатый мозг — в спинной мозг и, наконец, через симпатические нервы обратно в головной мозг к пинеалоцитам — клеткам эпифиза. Симпатические нервные окончания в эпифизе в темное время суток выделяют норадреналин, запускающий синтез мелатонина из его предшественника — серотонина. Интересно, что супрахиазматические ядра, в свою очередь, весьма богаты рецепторами мелатонина, т.е. обе системы взаимодействуют между собой.

Функцию эпифиза как железы внутренней секреции, выделяющей гормон мелатонин, выявили еще в конце 50-х годов, но активно изучать стали лишь в последнее время в связи с обширным применением синтетического мелатонина в медицине и соответствующей рекламной шумихой. Исследования на людях, эксперименты на обезьянах и других диурных (дневных) млекопитающих подтвердили пря-

мое участие мелатонина в модуляции сна. Предполагается, что функция эпифиза и его гормона у человека — обеспечить «привязку» покоя и сна к темному, а активности и бодрствования — к светлому времени суток. При этом синтез и выделение мелатонина происходят в темноте и блокируются на свету независимо от того, какой образ жизни ведет данное животное — дневной, ночной или сумеречный.

За взаимодействие всех этих механизмов и согласованное управление ими отвечает «высший командный центр» мозга, находящийся в гипоталамусе [4]. Это группа близко расположенных крошечных ядер — взаимодей-

ствующих друг с другом скопленных нейронов, главное из которых — дорзомедиальное ядро. В нем интегрируются поступающая когнитивная, или познавательная (от коры большого мозга), эмоциональная (от лимбической системы мозга) и висцеральная (от внутренних органов) информация. Эти клетки посылают «на выход» сигналы, реализующие пищевое поведение в бодрствовании, стресс, сон, реакции терморегуляции и пр. В настоящее время работу гипоталамического центра интенсивно изучают* (рис.5).

* Ковальзон В.М. Раскрыта природа нарколепсии // Природа. 2005. №11. С.3—8.

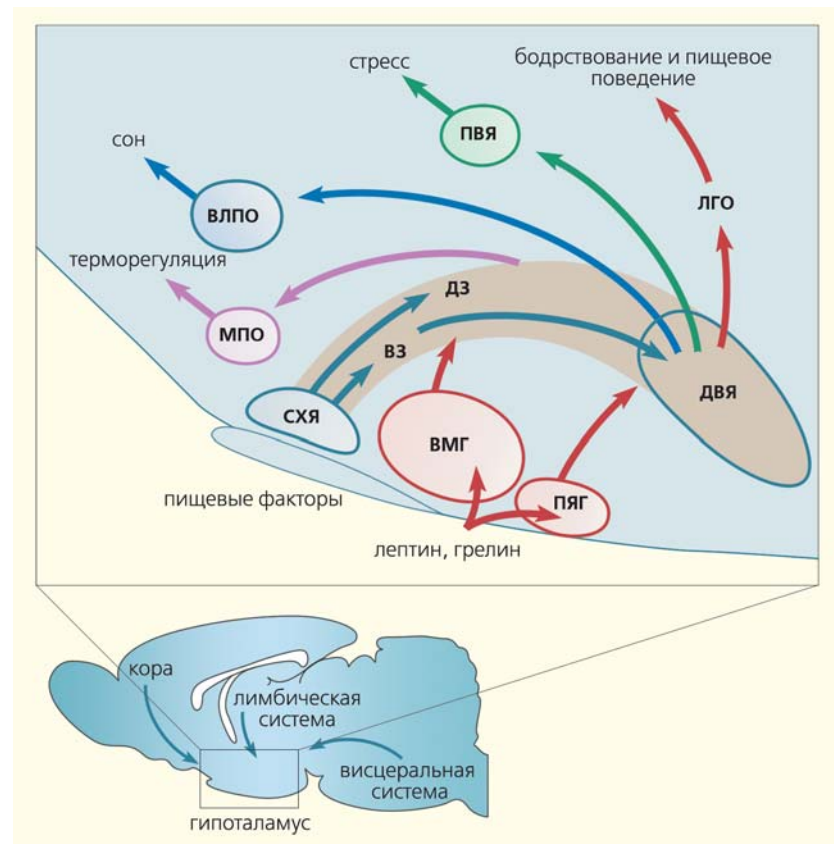


Рис.5. Высший командный центр мозга. Группа ядер — полукружное (ПЯГ), супрахиазмальное (СХЯ), паравентрикулярное (ПВЯ), а также латеральная гипоталамическая (ЛГО), медиальная (МПО) и вентролатеральная (ВЛПО) преоптические области, субпаравентрикулярные дорзальная (ДЗ) и вентральная (ВЗ) зоны — все они тесно взаимодействуют между собой. Однако вся информация интегрируется в дорзомедиальном ядре гипоталамуса (ДЯГ). Из него посылаются сигналы, реализующие поведение. Пищевые факторы стимулируют выделение гормонов лептина и грелина, которые опосредовано также влияют на дорзомедиальное ядро [4].

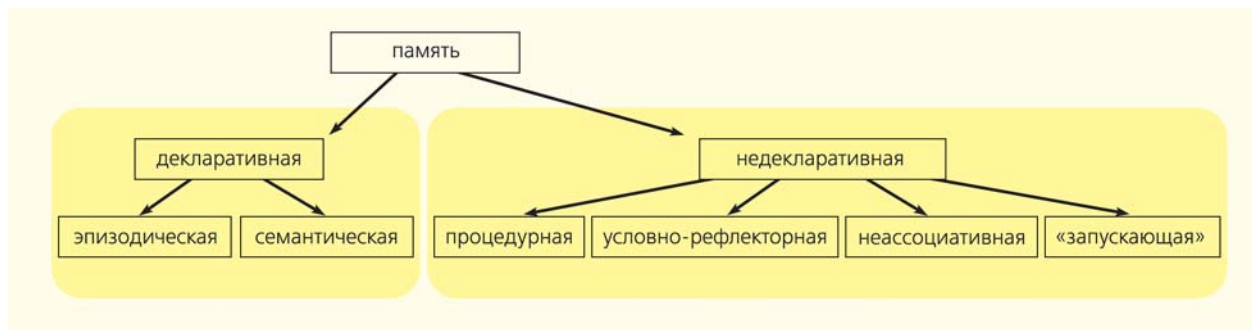


Рис.6. Виды памяти.

Что такое «память»?

Как сон — не простой и одно-родный процесс, так и память — совокупность целого ряда явлений (рис.6). Выделяют декларативную и не-декларативную память. Декларативная память — это способность сознательно воспроизводить информацию, основанную на определенных фактах (знание «чего-то»). Она, в свою очередь, подразделяется на эпизодическую (автобиографическую память на события в прошлой жизни индивидуума) и семантическую (память обо всем вообще, не связанную с какими-то конкретными событиями). Предполагается критически важное участие в декларативной памяти структур средневисочной доли, в особенности гиппокампа. Гиппокамп, как полагают, создает временной код для хранящейся в коре мозга информации, а также связывает следы различных ощущений в единые события [5–7].

Не-декларативная, бессознательная, память включает процедурную память (знание «как»), например обучение новым движениям (в спорте и т.п.), привычные движения и навыки, неосознанное обучение (подражание) и некоторые другие виды памяти (условно-рефлекторную, не-ассоциативную и «запускающую»). Считается, что процедурная память в меньшей степени зависит от гиппокампа и других структур средневисочной доли. И это почти все, что известно о нейрофизиологических механизмах памяти (в отличие от механизмов сна, каждый из которых имеет надежную нейроанатомическую, нейрофизиологическую и нейрохимическую основу). Более того, в реальной жизни отдельные виды памяти в изолированном виде почти никогда не проявляются. Например, обучение иностранному языку требует вовлечения целого блока различных «памятей», от не-

декларативной памяти о процедурных двигательных программах, связанных с артикуляцией, и запоминания грамматических правил и структур, до декларативной памяти, участвующей в подборе нужных слов. Трудно себе представить, чтобы все эти виды памяти включались одновременно в ходе обучения, и здесь может быть весьма существенной роль последующего сна [5–7].

Так же, как развитие сна характеризуется цикличностью, процесс запоминания проходит во времени целую серию определенных последовательных стадий: кодирование, интеграцию, транслокацию и консолидацию (рис.7). Кодирование предполагает создание внутримозговой модели запоминаемого события или явления. Наиболее важная из всех последующих — стадия консолидации, которая подразделяется на подстадии стабилизации и усиления. Затем след па-

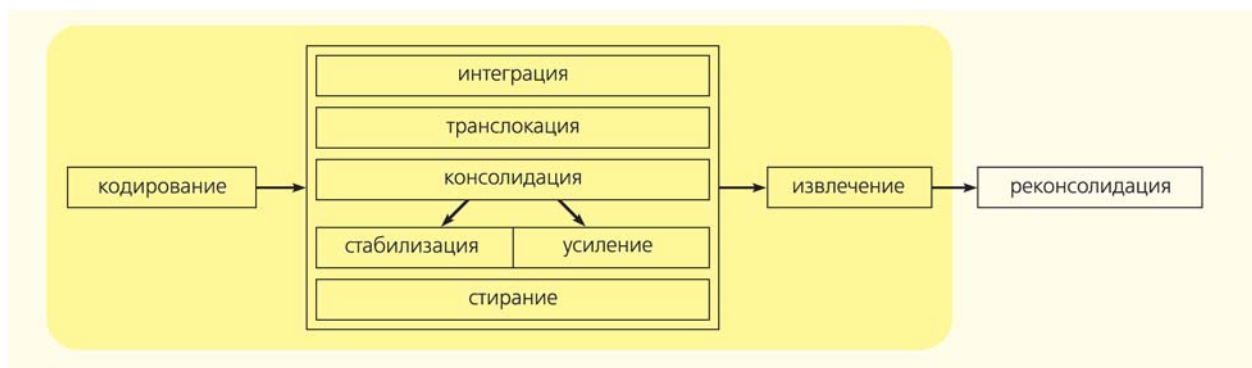


Рис.7. Стадии формирования и извлечения «следа памяти».

мяти может либо извлекаться, либо затухать со временем. Если извлечение следа памяти происходит слишком поздно, память вновь теряет свою стабильность и для ее укрепления требуется повторный период консолидации — реконсолидация. Классический термин «консолидация» подразумевает процесс, при котором след памяти с течением времени становится все более и более устойчивым к интерференции со стороны конкурентных или деформирующих память факторов, даже в отсутствие повторных запоминаний того же самого объекта (или действия). Таким образом, *консолидация делает след памяти более стабильным*. Большинство видов памяти *требует* консолидации после кодирования, но, похоже, не все заучиваемые задачи *сразу* устойчивы к конкурентной интерференции и не все проявляют признаки время-зависимой консолидации.

Недавние исследования расширили понятие консолидации, показав, что она не только стабилизирует память, но также и усиливает ее — причем физически эти два процесса могут быть различны. Стабилизирующая подстадия протекает во время бодрствования, а усиливающая — главным образом (если не исключительно) во время сна, либо восстанавливая уже затертые следы памяти, либо формируя дополнительное обучение, причем в обоих случаях не требуется повторного предъявления запоминаемого материала. Таким образом, консолидация, видимо, есть результат двух отдельных процессов, каждый из которых может происходить в определенные периоды бодрствования, в соответствующие фазы и стадии сна.

После первоначальной стабилизации след памяти может храниться неопределенно долгое время (от нескольких суток до многих лет) и в любой момент может быть извлечен. Од-

нако в настоящее время многие исследователи полагают, что сам процесс извлечения дестабилизирует след памяти, так что он опять становится лабильным и способным распасться. Было выдвинуто предположение о существовании процесса *реконсолидации*, который вновь переводит след памяти в стабильную форму. Если же нестабильный след памяти не проходит реконсолидации, он может довольно быстро распасться [5–7].

Среди других процессов, вовлеченных в формирование следов памяти, нужно отметить такие, как интеграция и ассоциация (включение недавно приобретенной информации в прошлый опыт и познания субъекта), транслокация (анатомическая реорганизация следов памяти в мозге), а также активное стирание следов. Причем все эти процессы проходят без участия сознания, без дополнительной тренировки или предъявления первоначальных стимулов, поэтому в конечном счете их можно связать с консолидацией следов памяти. Интересно, что различные гипотезы предполагают участие сна во всех этих процессах [6]. Проиллюстрируем это на примерах.

Сон и память

Как воздействует депривация (лишение) сна на кодирование эмоционального и неэмоционального материала в декларативной памяти? В исследовании участвовали две группы здоровых испытуемых — экспериментальная и контрольная (рис.8). Всем им предлагали выучить слова, среди которых были эмоционально-позитивные, эмоционально-негативные и нейтральные. Затем экспериментальную группу лишили сна в течение полутора суток, а контрольная спала нормально. После этого обе группы тестировали на запоминание заученных слов. Неспавшие испытуемые воспроизвели на 40% меньше слов, чем испытуемые контрольной группы. Это показывает, что формирование декларативной памяти под воздействием депривации сна нарушается. Когда полученные данные разделили на три группы в соответствии с эмоциональностью предъявленных к запоминанию слов, то обнаружили, что хотя запоминание ухудшилось во всех трех группах слов, но его степень была различной. В контрольной группе эмоциональные слова запоминались успешнее, чем нейт-

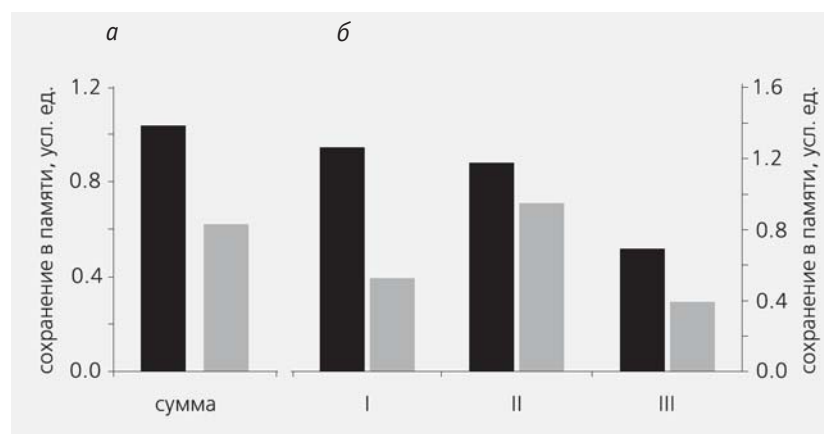


Рис.8. Воздействие 36-часовой депривации сна на кодирование декларативной памяти человека: а — весь запоминаемый материал (эмоциональный и неэмоциональный) собран вместе; б — эффекты, возникающие в случае, если запоминаемый материал разделен на эмоционально-позитивный (I), негативный (II) и нейтральный (III). Темные столбики — контрольная группа испытуемых; светлые — группа, лишенная сна [6].

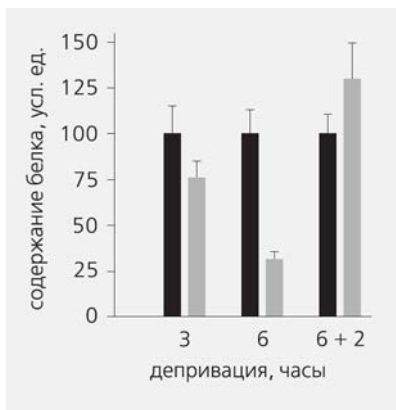


Рис. 9. Уровень белка pERK2, связанного с обучением и памятью, в гиппокампе крыс. После шести часов депривации уровень белка значительно снижался, но через два часа восстанавливался к норме. Темные столбики — контрольная группа, светлые — животные, лишенные сна [6].

ральные, в полном соответствии с известным положением, согласно которому переживание эмоций облегчает кодировку следов памяти. Однако в экспериментальной группе, лишенной сна, наблюдалось сильное

нарушение кодировки с последующим ослаблением фиксации следа памяти по отношению к нейтральным и, в особенности, эмоционально-позитивным словам. В последнем случае воспроизведение слов в экспериментальной группе ухудшилось на 60% по сравнению с контрольной. Еще более удивительной оказалась устойчивость к депривации сна памяти на эмоционально-негативные слова — она снижалась очень незначительно и статистически недостоверно.

В экспериментах на подопытных животных изучали особый фермент, так называемую «киназу, регулируемую внеклеточными сигналами» (сокращенно ERK). Считается, что этот белок имеет особое отношение к механизмам гиппокампзависимого обучения и декларативной памяти. Так вот, когда лабораторных крыс обучали поиску выхода из лабиринта в условиях трех- и шестичасовой депривации, у животных не только заметно ухудшилась обучаемость, но и уменьшилось содержание ERK в гиппокампе. После трехчасовой депривации эти изме-

нения были менее значительны. Достаточно дать крысам отоспаться всего два часа, чтобы кодирование декларативной памяти и концентрация белка ERK вернулись к норме (рис.9).

Интересные данные получили в исследованиях, связанных с процедурной памятью. Испытуемых обучали игре на пианино утром, в 10 часов. Вечером (в 10 часов) при проверке успешности урока никакого улучшения не было, но на следующее утро (в те же 10 часов) оно оказалось значительным (рис.10). Если же обучение проводилось вечером (в 10 часов), то существенное улучшение отмечалось следующим утром, в 10 часов, но при проверке в тот же день в 10 вечера его уже не было. При этом выяснилось, что степень улучшения выполнения этой двигательной задачи за ночь связана со стадией 2 медленного сна (легкий сон) в последней, четвертой, четверти ночи, т.е. в период, предшествующий утреннему пробуждению. Причем это утреннее улучшение относится именно к заученному упражнению и только к той руке, которая участвовала в обучении.

В другой серии исследовали роль *дневного* сна в реализации обучения, связанного с процедурной памятью (рис.11). Две группы испытуемых утром обучались работать с клавиатурой. Одна группа оставалась бодрой весь день, а другой разрешали поспать после обеда час-полтора. При вечернем тестировании у участников «спавшей» группы скорость печатания увеличилась на 16%, а члены «бодрой» группы никакого улучшения не продемонстрировали. Однако при тестировании следующим утром в «бодрой» группе резко улучшилось выполнение теста, т.е. неспавшие участники догнали спавших! Значит, для успешного обучения новым навыкам нужно обязательно поспать, и неважно, днем или ночью.

Использование новейшего метода функциональной магнито-резонансной томографии

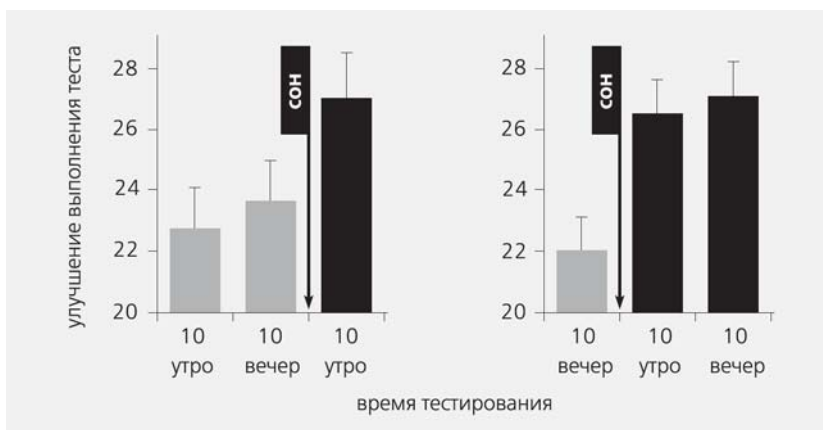


Рис. 10. Процедура памяти на движения — и сон у человека. Слева — вначале бодрствование. У испытуемых, обученных утром (светлый столбик), выполнение теста через 12 часов бодрствования не улучшалось. Однако при повторном тестировании после ночного сна (темный столбик) отмечается значительное улучшение. Справа — вначале сон. У испытуемых после обучения в 10 вечера (светлый столбик) показатели тестирования значительно улучшились после ночного сна (темный столбик), однако последующие 12 часов бодрствования (темный столбик) больше не изменили выполнения. Обозначения — как на рисунке слева [6].

(фМРТ) позволило выявить реорганизацию и транслокацию следов памяти после ночного сна по сравнению с 12-часовым бодрствованием. Испытуемые должны были ставить определенные метки в предъявляемых на экране картинках, нажимая на кнопку. После ночного сна участки активации обнаружили в правой первичной двигательной коре и в левом полушарии мозжечка — это две области, связанные с более точным и быстрым манипулированием; в правом гиппокампе и в правой медиальной префронтальной коре — это области, связанные с контролем точной последовательности выполняемых движений. Снижение активности отмечали с обеих сторон в теменной коре. Возможно, это отражает снижение необходимости контроля сознания за пространственным перемещением объекта, которое опознается автоматически в левой инсулярной коре, в левом височном полюсе и в левой фронтополярной области. Последние три области тесно связаны с лимбической (эмоциональной) системой мозга, и падение их активности вызвано, очевидно, тем, что выполнение двигательной задачи стало более автоматизированным и менее эмоциональным. В целом эти результаты свидетельствуют, что обучение двигательной задаче, требующее включения *процедурной* памяти, связано с обширными пластическими реорганизациями следов памяти по всему мозгу. Такая транслокация приводит к тому, что после сна данная задача выполняется быстрее, аккуратнее и более автоматически.

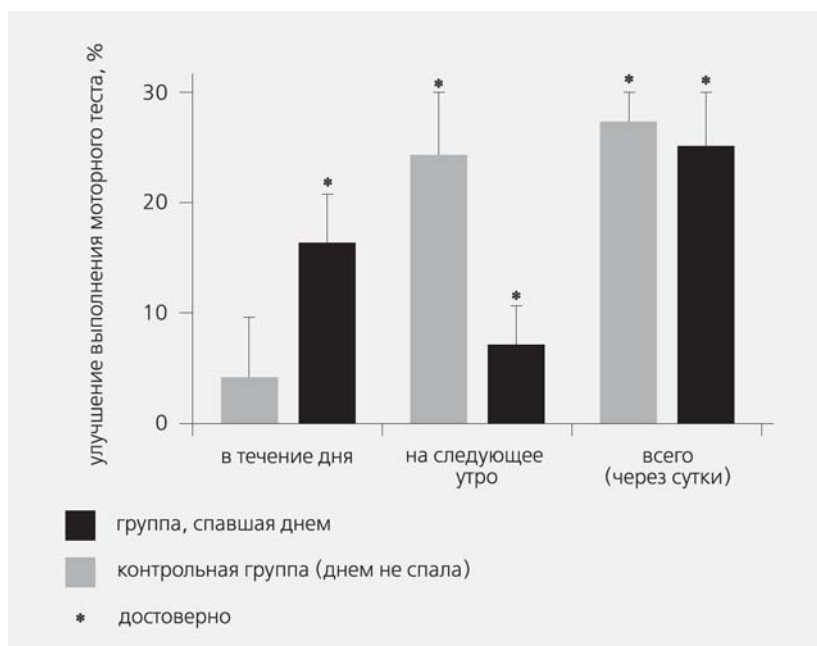


Рис.11. Влияние дневного сна на процедурную память, связанную с двигательной активностью [6].

Опыты по изучению участия *быстро* сна в процессах обучения и памяти проводили на крысах. Одна группа (контрольная) находилась в течение трех часов в конце темного (активного) периода суток в обычных клетках, а вторая — в сложном лабиринте, в условиях так называемой «обогащенной» среды, которая активирует механизмы обучения и памяти у животных. Показано, что такая процедура не только увеличивает процент быстрого сна в последующей записи, но также значительно усиливает синтез белка одним из «немедленных ранних» генов, называемым *zif268*, включающимся в ходе обучения, причем это усиление происходит именно в быстром сне. У контрольной группы

животных активность этого гена ослабляется в медленном сне и сохраняет такой пониженный уровень в быстром.

Все эти исследования показали, что обучение (заучивание типа «зубрежки») возможно и эффективно в состоянии расслабленного бодрствования и легкой дремоты. Однако при появлении тета-ритма в ЭЭГ восприятие заучиваемого материала нарушается, а при появлении сонных веретен — полностью блокируется. Отсюда следует простой вывод: механизмы сна играют важную роль в сохранении (фиксации) следов памяти, образовавшихся в предшествующем бодрствовании, но во время самого сна обучение, видимо, невозможно. ■

Литература

1. Bassetti C.L., Bischof M., Valko P. Dreaming: a Neurological View // *Psychoanalysis and Neuroscience* / Ed. M.Mancia. Milan, 2006. P.351—387.
2. Datta S., MacLean R.R. // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2007. V.31. P.775—824.
3. Jones B. // *Trends in Pharmacological Sciences*. 2005. V.26. №11. P.578—586.
4. Saper C.B., Lu J., Chou T.C., Gooley J. // *Trends in Neurosciences*. 2005. V.28. №3. P.152—157.
5. Stickgold R., Walker M.P. // *Sleep Medicine*. 2007. V.8. P.331—343.
6. Walker M.P., Stickgold R. // *Annual Review of Psychology*. 2006. V.57. P.139—166.
7. Walker M.P., Stickgold R. // *Neuron*. 2004. V.44. P.121—133.

Организованные среды — мир жидких наносистем

С.Н.ШТЫКОВ

Прежде чем управлять химическим процессом, надо научиться управлять самим растворителем, т.е. свойствами реакционной среды.

Ю.А.Фиалков

«**С**orpora non agunt soluta» (тела не взаимодействуют друг с другом вне раствора) постулировали алхимики много веков назад. И это правило за исключением небольшого числа твердофазных реакций никто до сих пор не отменял.

Возникновение жизни на Земле и последующее развитие всего живого, процессы в Мировом океане и формирование минералов, промышленные технологии органического и неорганического синтеза, да и просто подавляющее большинство химических реакций связаны с растворами. Мы настолько привыкли к этому, что часто вообще забываем об определяющей роли растворителя, т.е. среды, в которой протекают химические, физико-химические и биохимические процессы. Одним из первых на химическую природу связи между растворителем и растворенным веществом обратил внимание Д.И.Менделеев. В 1865—1887 гг. он предложил теорию, согласно которой растворы — это динамические системы, содержащие неопределенного состава соединения между растворителем и растворенным веществом. Много позднее, уже в 1903 г., он пришел к выводу о необходимости сочетать физическую и химическую теории образования растворов, объединив тем самым собственные взгляды и взгляды С.Арре-



Сергей Николаевич Штыков, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Саратовского государственного университета. Член президиума Российского химического общества им.Д.И.Менделеева и отделения аналитической химии EuCheMS*. Научные интересы: развитие принципов супрамолекулярной химии, нанохимии и нанотехнологий в химическом анализе.

ниуса [1]. Дмитрий Иванович также считал, что необходимо отыскивать связи между *макроскопическими* свойствами растворов и *природой* растворенных веществ, чтобы выявлять существующие закономерности. Его последователю, известному русскому химику Н.А.Меншуткину, принадлежит крылатое выражение: «Реакция неотделима от среды, в которой она протекает» (1890). Из этих слов следует важнейшая задача химика — использовать свойства среды для направленного воздействия на химическую систему, т.е. на скорость реакции, природу и количественный выход ее продуктов [2].

* EuCheMS (European Association for Chemical and Molecular Sciences) — Европейская ассоциация по химическим и молекулярным наукам.

С той поры кроме воды изучались водно-органические и неводные среды. А в конце XX в. ученые обратили внимание на микрогетерогенные организованные среды, позволяющие использовать свойства раствора уже не на макро-, а на *микро- и наноразмерах* [3].

Традиционные растворители

Вода. Это растворитель уникальный, обладающий многими аномальными (по сравнению с другими жидкостями) свойствами. К ним можно отнести, например, плотность, теплоемкость, поверхностное натяжение, диэлектрическую проницаемость и т.д. [4]. Нередко вода одинаково пригодна для раство-

рения неорганических и органических веществ, для поддержания устойчивого баланса в процессах превращения веществ живой и неживой природы, для регулирования теплового баланса Земли.

Аномальность свойств воды проявляется даже в таких параметрах, как температуры кипения и замерзания [4]. Если сравнить зависимость этих температур от молекулярной массы воды и ее аналогов (водородных соединений элементов подгруппы кислорода), получается, что в реальном мире вода кипит на 170° и плавится на 90° выше «нормы» (рис.1).

Большинство аномалий жидкой воды связано с особенностями ее строения. Молекула H_2O — двойной симметричный донор и акцептор протонов, что способствует образованию четырех межмолекулярных водородных связей с соседними молекулами (рис.2). В результате возникает уникальная структура — пространственная сетка водородных связей, а молекулы воды существуют в связанной (структурированной) и несвязанной формах.

Видимо, благодаря своим особым свойствам вода — практически единственный растворитель, в котором существует большое и почти равное число разных по силе кислот и оснований [2]. Очень плохо она растворяет только неполярные, гидрофобные, соединения.

Вода, пожалуй, — самое исследованное вещество на Земле. Ее уже более 100 лет интенсивно изучают методами термодинамики, статистической физики, спектроскопии и акустики, широко применяя полуэмпирические и неэмпирические методы квантовой химии, молекулярной динамики и Монте-Карло. Но чем глубже ученые вникают в природу воды, тем больше убеждаются в ее уникальности, а многие удивительные свойства, которых нет ни у одного другого растворителя, так и остаются необъясненными.

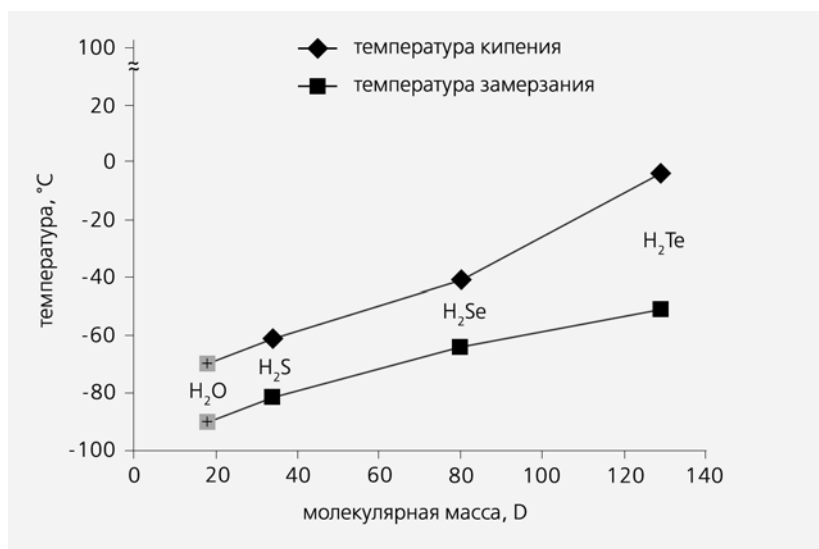


Рис.1. Температуры замерзания и кипения некоторых водородных соединений. Крестиком отмечены гипотетические температуры для воды в отсутствие сетки водородных связей.

Со временем вода как растворитель перестала удовлетворять химиков. Появилось желание управлять свойствами веществ и самим химическим процессом, проводить такие реакции, которые не протекают в воде или протекают очень медленно. И вот с середины XIX в. сначала эпизодически, а с 80-х годов все более интенсивно в практику начали входить водно-органические и неводные среды.

Неводные растворители. Обширные исследования, особенно в первой половине XX в., привели к тому, что неводные среды стали применять в науч-

ных целях, в химическом анализе, при синтезе органических соединений, в электрохимических процессах и даже в промышленных химических технологиях. Оказалось, что одни и те же вещества в разных растворителях имеют разные свойства и дают иные продукты реакций. Так, серная кислота в воде ведет себя как очень сильная кислота, а, например, в бутаноле — как слабая, в среде HClO_4 — даже как слабое основание (!) либо вовсе не проявляет ни кислотных, ни основных свойств.

Стало ясно: в основе кислотных и основных свойств ве-

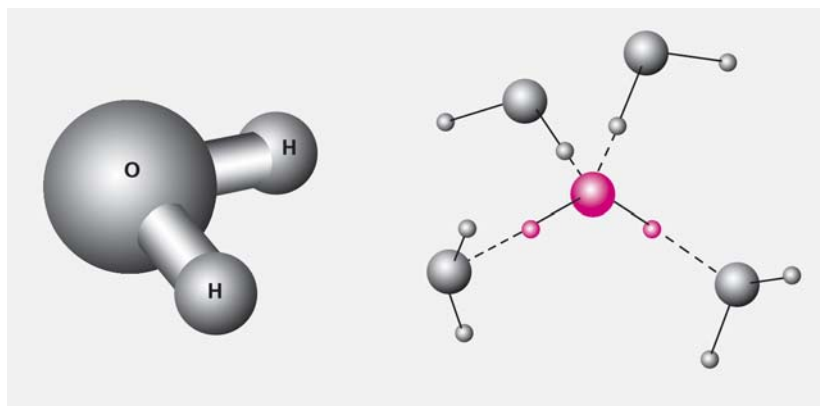
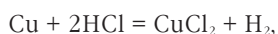


Рис.2. Модель молекулы воды и схема образования водородных связей (штрих) с соседними молекулами.

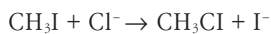
щества лежат особенности их химического взаимодействия с растворителем. На это и пытались в свое время обратить внимание Менделеев и его последователи. Значит, изменяя природу растворителя (протонный, апротонный, полярный, неполярный, дифференцирующий, нивелирующий), можно регулировать свойства веществ, что как раз и требовалось химикам.

Примеры необычного поведения веществ в неводных средах можно продолжить. Если школьник напишет уравнение реакции



он заслуженно получит двойку — такая реакция в воде не протекает (медь в ряду напряжений стоит после водорода). Но она идет в органическом растворителе ацетонитриле [5]. Из неводных растворов с помощью электролиза можно выделить сверхактивные щелочные металлы (!), причем при комнатной температуре и с выходом, близким к 100%. В неводных растворителях основного характера щелочной металл может растворяться так же, как соль в воде: $\text{M} = \text{M}^+ + \text{e}^-$, т.е. образовывать катион металла и анион, роль которого выполняет электрон.

Еще один пример — ускорение реакции. Так, в ряду растворителей вода, формамид, N-метилформамид, N,N-диметилформамид, N,N-диметилацетамид с диэлектрическими проницаемостями — 78,3, 109,5, 182,4, 36,7, 37,8 — соответствующие константы скорости второго порядка ($\text{M}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$) реакции



увеличиваются более чем в миллион раз: $3 \cdot 10^{-6}$, $5 \cdot 10^{-5}$, $2 \cdot 10^{-4}$, 2,5 и 8,0 соответственно [6]. Причина ускорения связана с десolvатацией ионного реагента в апротонном растворителе.

Итак, растворитель — не только среда, в которой протекают реакции, но и их активный компонент. Его влияние на хи-

мический процесс определяется прежде всего двумя важнейшими характеристиками: донорно-акцепторными свойствами и величиной диэлектрической проницаемости. Значит, прежде чем управлять химическим процессом, надо научиться управлять самим растворителем, т.е. свойствами реакционной среды [2]. Однако регулировать оба свойства сразу невозможно, поскольку в любом индивидуальном растворителе одновременно меняются и диэлектрическая проницаемость, и донорно-акцепторные свойства.

Химики нашли простой выход из положения — начали использовать смеси неводных или водно-органических растворителей. Варьируя состав смесей, удавалось создать необходимые донорно-акцепторные и диэлектрические свойства среды: один компонент отвечал за донорно-акцепторные взаимодействия (сolvатацию), а другой позволял регулировать диэлектрическую проницаемость. Появилась возможность направленно воздействовать на растворимость и ионизацию веществ, на ассоциацию молекул, регулировать их кислотно-основные, комплексообразующие, окислительно-восстановительные и другие свойства реагентов.

Со временем эйфория, основанная на предположении, что неводные или водно-органические среды помогут решить все проблемы, прошла. Несмотря на значительные успехи в управлении химическим процессом, многих целей достигнуть не удалось. Электропроводность таких растворов была низка, реакции между гидрофобными и гидрофильными (ионными) веществами протекали не всегда или имели низкую скорость из-за фазового разделения компонентов. Непригодными неводные среды оказались для биохимических реакций, так как ферменты теряли активность.

Кроме того, новые задачи пришли от аналитической хи-

мии: требовалось снизить пределы обнаружения веществ и улучшить селективность реакций. Для этого нужен был какой-то иной подход, ведь чем ниже концентрации определяемых веществ в растворе, тем меньше вероятность их контакта с реагентом и, значит, аналитическая реакция менее эффективна или не протекает вообще. Необходимые нано- и пикограммовые пределы обнаружения веществ, повышение эффективности переноса энергии возбуждения молекул или переноса электрона потребовали локального концентрирования реагентов. И исследователи вновь вернулись к воде и неводным растворам, но уже на другом, *микрорегетерогенном* уровне [4].

Микрорегетерогенные системы

В стремлении подражать природе химики обратили внимание на необычные формы состояния в воде некоторых видов дифильных органических молекул. На одном их конце содержится отрицательно ($-\text{SO}_3^-$, $-\text{SO}_4^-$, $-\text{COO}^-$) или положительно ($-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) заряженная группа, или полярная оксиэтиленовая цепь $(\text{OC}_2\text{H}_4)_n$, а на другом — длинный неполярный углеводородный радикал из 8—18 атомов углерода. Пример таких мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) — додецилсульфат натрия $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4^- \text{Na}^+$, наиболее распространенный компонент любых моющих средств.

В воде молекулы ПАВ образуют на поверхности мономолекулярную пленку (рис.3), в которой полярная часть молекул погружена в водную среду, а гидрофобный радикал находится в воздухе. Это и приводит к значительному (почти вдвое) снижению поверхностного натяжения воды (отсюда и произошел термин «поверхностно-активные вещества»).

После заполнения поверхности воды следующие молекулы

(ионы) ПАВ переходят в ее объем. При достижении критической концентрации мицеллообразования в растворе спонтанно возникают агрегаты (ансамбли) ПАВ, образующие наноразмерные псевдофазы (см. рис.3). Именно это позволило получить принципиально новый тип растворителя — *микрорегерогенные организованные среды*. Состоят они из двух компонентов — растворителя и распределенного в нем огромного числа (10^{16} – 10^{18}) наноразмерных псевдофаз. Растворителем в таких средах может быть как вода, так и неводные жидкости.

Можно выделить два типа организованных сред [7]: содержащие *мицеллярные системы* и содержащие *молекулы-рецепторы* (рис.4, 5). От классических гомогенных водных или неводных растворителей принципиально отличаются оба типа. В том и другом типе псевдофазы занимают в совокупности всего лишь тысячные или сотые доли общего объема раствора. Но тем не менее они способны коренным образом изменять многие физико-химические характеристики веществ, *солубилизованных* на поверхности или внутри нанопсевдофазы (рис.4, б). Эта особенность и лежит в основе управления свойствами компонентов реакции и химическим процессом в целом.

Мицеллярные системы представляют собой ансамбли нескольких десятков дифильных молекул ПАВ (дисперсная фаза), распределенных в общей массе водного или неводного растворителя (дисперсионная среда) [7]. Кроме ПАВ в составе бывают два-три других соединения, чаще всего углеводород и короткоцепочечный спирт, так называемый коПАВ*. Мицеллярные

системы могут возникать и на соприкасающейся с раствором твердой поверхности, образуя гемимицеллы (полумицеллы) или адмицеллы (адсорбционные бислои).

Мир мицеллярных систем разнообразен: прямые и обратные мицеллы, микроэмульсии (масло/вода и вода/масло), везикулы, липосомы, липидные мембраны, пленки Ленгмюра—Блоджетт, жидкие кристаллы и др. (см. рис.4). Своеобразие наноразмерной жидкой фазы, создаваемой ансамблем ПАВ, в том, что она практически не имеет макроскопического аналога. Образование мицеллярных систем в результате самоорганизации молекул (ионов) ПАВ в растворе не связано с возникновением новых химических связей. Это позволяет отнести такие системы к *супрамолекулярным* структурам [7, 8].

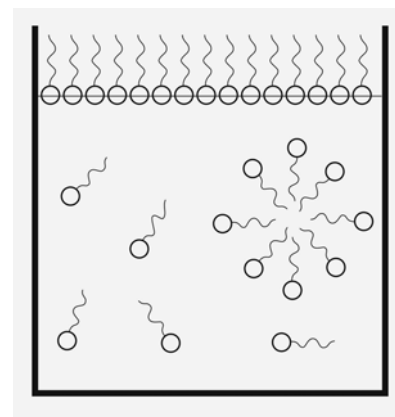


Рис.3. Формы существования ПАВ на границе раздела вода/воздух и в водной среде.

Самоорганизация, термодинамическая устойчивость и динамическое равновесие, создаваемое непрерывным образованием и распадом мицеллярных систем, — их характерные при-

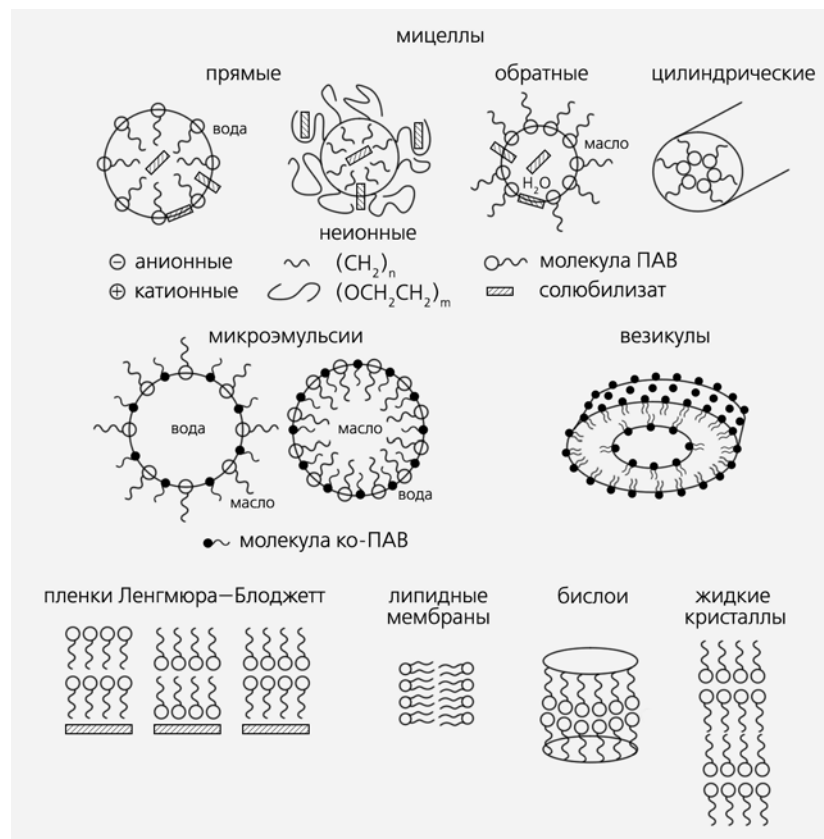


Рис.4. Самоорганизующиеся мицеллярные системы на основе ПАВ. В заштрихованных областях возможна ориентация и локализация реагентов в наносистемах.

* Так принято именовать дополнительные дифильные соединения, которые, не будучи сами ПАВами и потому не образующие нанофаз, встраиваются между молекулами ПАВ. Благодаря присутствию коПАВ и могут образовываться микроэмульсии при смешивании, например, воды и бензина.



Рис.5. Наиболее часто применяемые молекулы-рецепторы. Полости циклодекстринов (ЦД), получаемых ферментативной трансформацией крахмала, могут быть образованы шестью (α -ЦД), семью (β -ЦД) и восемью (γ -ЦД) глюкопиранозными циклами. Каликсарены получают синтетическим путем, число бензольных колец в молекуле может быть от четырех (каликс[4]арен) до восьми. Циклодекстрин в качестве хозяина используется для капсулирования лекарств.

знаки. Так, период полураспада мицелл ПАВ лежит в интервале от нескольких миллисекунд до секунды, а время пребывания одной молекулы в мицелле составляет 10^{-7} – 10^{-5} с. Этим они коренным образом отличаются от классических твердофазных лиофобных коллоидных мицелл, традиционно рассматриваемых в классических учебниках по коллоидной химии.

Ко второй группе организованных сред относятся растворы разных молекул-рецепторов, например циклодекстринов, каликсаренов (см. рис.5), циклофанов, кавитандов, карцерандов и т.д., образующих в пространстве жесткие трехмерные каркасы с полостями внутри [7]. Молекулы таких каркасов выступают в роли «хозяев» (рецепторов) для включаемых в полость

«гостей», давая начало химии «гость—хозяин» (см. рис.6). Образование подобного *супрамолекулярного* комплекса «гость—хозяин» составляет основу принципа молекулярного распознавания веществ, например, в химических сенсорах [8].

В целом *организованные среды* — это прозрачные, оптически однородные растворы, в которых в основной массе растворителя (водного или неводного) присутствуют наноразмерные системы, образующие собственную нанофазу. Таким образом, *организованные среды гомогенны и однофазны в макромасштабе, но микрогетерогенны и двухфазны на наноуровне* [7].

Микрогетерогенные организованные среды отличаются от привычных гомогенных растворов локальным эффектом [7]. Он проявляется при растворении (солюбилизации) как гидрофильных, так и гидрофобных веществ в наноразмерном объеме мицеллярной системы или полости молекулы-рецептора (см. рис.4–6). В этом случае свойства и реакционная способность солюбилизированных соединений (субстратов) меняются из-за изменений среды только в их микроокружении, а не во всем растворителе.

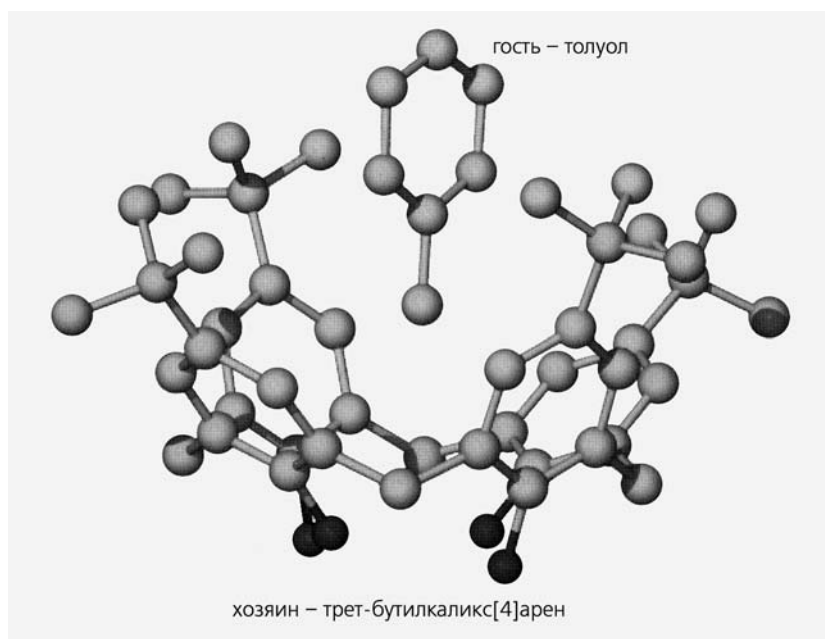


Рис.6. Система «гость—хозяин». Здесь показан комплекс включения толуола в полость трет-бутилкаликс[4]арена.

Такой же локальный эффект проявляют липосомы, везикулы, мембраны, белки и активные центры ферментов в живом организме. Поэтому искусственные мицеллярные системы можно отнести к *биоподобным* объектам. Природные ПАВ — липиды — в живом организме выполняют ту же роль, что и синтетические у химиков: помогают преодолеть малую растворимость веществ, модифицируют поверхности, служат эмульгаторами и диспергаторами. Например, ансамблями солей желчных кислот солюбилизируются гидрофобные компоненты крови.

Итак, если в растворителе имеются мицеллярные системы или молекулы-рецепторы, его свойства можно регулировать. И основа этого — их изменение не во всем объеме, а только в сольватном окружении реагирующих веществ.

Солюбилизация — сложный процесс (см. рис.4). Реагент может локализоваться на поверхности организованного ансамбля ПАВ *радиально* или в ядре мицеллы (гидрофобном углеводородном или гидрофильном водном), а также внутри полости молекулы-рецептора. В результате высокая полярность основной массы водной среды и, следовательно, сохранение высокой скорости ионных реакций сочетаются с пониженной полярностью, а значит, с други-

ми диэлектрическими и сольватационными свойствами реакционной зоны солюбилизированной частицы. В обратных мицеллах или микроэмульсиях вода/масло, напротив, сохраняются качества неводного растворителя. Однако вода внутри водного ядра имеет иную структуру и другие свойства по сравнению с обычной водой и замерзает, например, при -40°C .

Наноразмерную неводную или водную микрофазу, в которой протекает химическая реакция, называют *микро-* или *нано-реактором* [7].

Благодаря солюбилизации компоненты реакции концентрируются, специфически ориентируются и сближаются на чрезвычайно малой — наноразмерной — поверхности или в малом объеме наносистемы, даже если вещества значительно различаются по гидрофобности (табл.). Это способствует многоцентровому взаимодействию, катализу, изменению гидратации компонентов реакции, облегчает перенос энергии или электрона. В конечном счете все это служит причиной нелинейных оптических, электрохимических или адсорбционных эффектов, используемых в био- и фотохимии, био- и фотофизике и химическом анализе. Эти эффекты во многом обусловлены самосборкой и наноразмерами организованных систем. Таким образом, организованные

среды составляют предмет изучения *нано- и супрамолекулярной химии*.

С помощью организованных сред воду удалось «заставить» растворять гидрофобные вещества (т.е. сделать ее «неполярной»), а неполярные органические растворители — растворять воду. Бензин и воду в присутствии ПАВ можно смешивать почти в любых соотношениях. Это нарушает старое алхимическое правило, которым пользуются до сих пор: «*similia similibus solventur*» (подобное растворяется в подобном). Круг замкнулся: начав сотни лет назад с воды, химики снова вернулись к водным средам, но стали использовать ее свойства, проявляющиеся на наноразмере, как это происходит в живой природе.

Во многоцентровом и многофункциональном взаимодействии растворенной частицы с компонентами организованной системы *гидрофобный эффект* играет доминирующую роль [7]. Значительная микрогетерогенность среды внутри нанофазы выражается в резком изменении диэлектрической проницаемости, вязкости, микрополярности, микрокислотности и других физико-химических свойств [7]. Так, диэлектрическая проницаемость воды в направлении от поверхности раздела фаз вода—мицелла к ядру мицеллы может изме-

Таблица

Влияние хлорида натрия на некоторые параметры мицелл ПАВ — катионных, анионных и неионных*

Мицеллы ПАВ	Концентрация хлорида натрия, моль/л	Радиус мицеллы, нм	ККМ, мМ	Число молекул в агрегате
$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4\text{Na}$ — (додецилсульфат натрия; катионное ПАВ)	—	1.91	8.2	64
	0.1	2.53	1.9	88
	0.4	2.79	0.58	106
$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}(\text{CH}_3)_3 \text{Br}$ — (бромид цетилтриметиламмония; анионное ПАВ)	—	2.17	0.9	92
	0.1	—	0.23	136
Тритон X-100 (неионное ПАВ)	—	5.2	0.27	100
	0.1	6.0	0.34	140

* По: Os N.M., van, Naak J.R., Rupert L.A.M. *Physico-Chemical Properties of Selected Anionic, Cationic and Nonionic Surfactants*. Amsterdam, 1993.

няться от 78 до 4–6, как у неполярных углеводородов. И все это на расстоянии 1–2 нм!

Для изучения свойств организованных сред применяют обширный комплекс химических, физико-химических и физических методов. В нашей лаборатории методами термодинамики и молекулярного спектрального зонда получены новые сведения как о свойствах раствора в целом, так и о характере микроокружения веществ при их солюбилизации в мицеллах, микроэмульсиях и молекулах-рецепторах. Для термодинамических исследований в лаборатории был сконструирован уникальный дилатометр. Он позволяет проводить прямые, одновременные и прецизионные измерения изотермической сжимаемости, термического коэффициента объемного расширения и плотности растворов.

Мы изучили объемные свойства водных растворов неионных и ионных ПАВ в домицеллярной области концентраций и выше критической концентрации мицеллообразования

(ККМ). Оказалось, что если ККМ не превышена, эти свойства не зависят от природы и концентрации ПАВ, причем не отличаются от объемных свойств самой воды, т.е. ведут себя как идеальные растворы. Следовательно, концентрации ПАВ, при которых объемные свойства реальных и идеальных растворов практически совпадают, ограничены величиной ККМ.

Наиболее интересные результаты получены при термодинамическом изучении растворов микроэмульсий на основе додецилсульфата натрия при разных соотношениях вода/масло [9]. По результатам дилатометрических измерений мы впервые рассчитали температурный коэффициент ($\Delta P_i/\Delta T$) и обнаружили, что он проявляет *концентрационную инверсию* (рис.7). В итоге $\Delta P_i/\Delta T$ был предложен в качестве нового параметра для исследования структурных состояний и переходов в микроэмульсиях. Границы возникающих трех структурных областей микроэмульсий подтверж-

дены данными электропроводности, вязкости, а также с помощью молекулярных спектральных зондов [9].

При дилатометрических измерениях растворов, содержащих молекулы-рецепторы (2-гидроксипропил- β -циклодекстрин), был выявлен еще один интересный эффект: вплоть до концентрации 20 масс. % циклодекстрина пространственная сетка водородных связей воды не перестраивается. Оказалось также, что циклодекстрин препятствует искажению водородных связей по мере роста температуры, т.е. стабилизирует структуру воды.

Благодаря применению метода молекулярного зонда удалось объяснить, почему изменяется таутомерия азосоединений и 1,3-дикетон в мицеллярных растворах ПАВ. Кроме того, выяснилась причина усиления/ослабления кислотного или основного гидролиза в обратных мицеллах и микроэмульсиях. Во всех случаях «виновато» было изменение полярности среды в той области мицеллярной системы, где локализуются реагенты [7, 10].

На службе аналитики

Сейчас трудно найти область аналитической химии, где бы не применялись организованные среды. Результаты, полученные нами и другими исследователями, обобщены в обзорах [7, 10] и монографиях [11–13].

Для любого вида химии, и для аналитической в частности, важно управлять свойствами организованных сред (систем), а следовательно, и эффективностью реакций, протекающих в нанореакторах. Для этого существует два способа: направленный выбор организованных системы и регулирование ее свойств разными добавками [7] (см. табл.). За счет комбинирования этих способов удалось изменить свойства аналитических реагентов, хелатов металлов

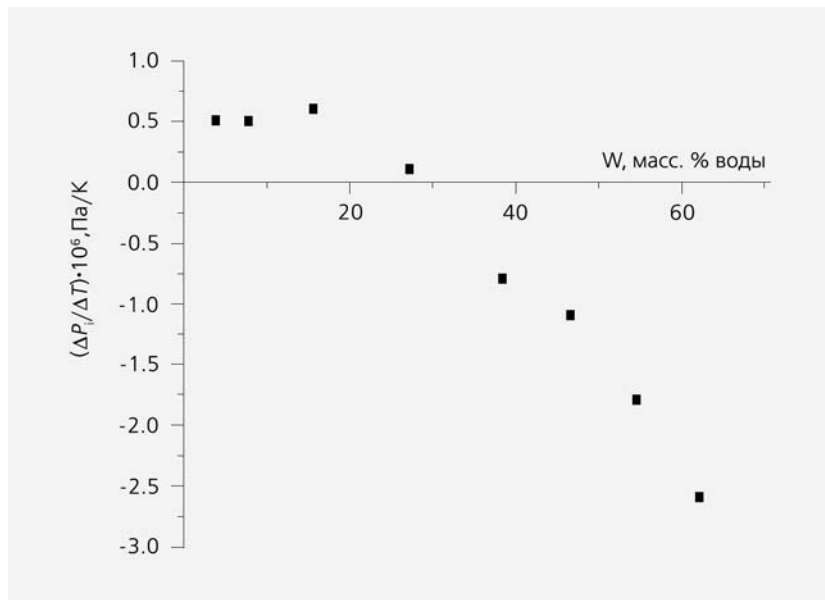


Рис.7. Зависимость температурного коэффициента внутреннего давления ($\Delta P_i/\Delta T$) микроэмульсий вода/октан/ДДС/пентанол от содержания воды (W) в интервале температур 15–25°C. Видны границы трех структурных областей микроэмульсий: при $W < 16$ (вода/масло), $30 > W > 16$ (биконтинуальная область) и $W > 30$ (масло/вода).

и на один-два порядка снизить пределы обнаружения ионов металлов и органических соединений в спектрофотометрическом и люминесцентном методах анализа [10–12]. Интенсивность поглощения света комплексными соединениями в мицеллах ПАВ увеличилась в 2–50 раз, и молярный коэффициент поглощения этих веществ достиг предельных значений $(1-5) \cdot 10^5$. Особенно эффективным приемом управления спектральными и метрологическими характеристиками аналитических систем в спектрофотометрии оказалось совместное использование мицелл ПАВ и сильных электролитов.

Наиболее интересные результаты получены нами в современных вариантах люминесцентного анализа, основанных на переносе энергии электронного возбуждения в синглетном и триплетном состояниях молекул. За счет концентрирования компонентов аналитической реакции, переноса энергии и «антенны» в мицеллах ПАВ увеличена интенсивность флуоресценции хелатов европия и тербия в 2–3000 раз. В результате можно определять эти металлы на уровне 10^{-12} , а антибиотики тетрациклинового и фторхинолонового рядов — от 10^{-8} до 10^{-9} мол./л.

Больше 10 лет назад мы разработали метод сенсibilизированной фосфоресценции при комнатной температуре (С-ФКТ). В его основу легли эффекты переноса энергии в триплетном состоянии молекул в мицеллах ПАВ [14] (рис.8). Главные достоинства этого метода — улучшение его *селективности* и возможность определять полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), наиболее опасную группу экотоксикантов. Метод не требует, что очень важно, замораживания раствора в жидком азоте и предварительного разделения компонентов смеси ПАУ жидкостной хроматографией.

Объединив наносистемы и нанотехнологии, мы улучшили

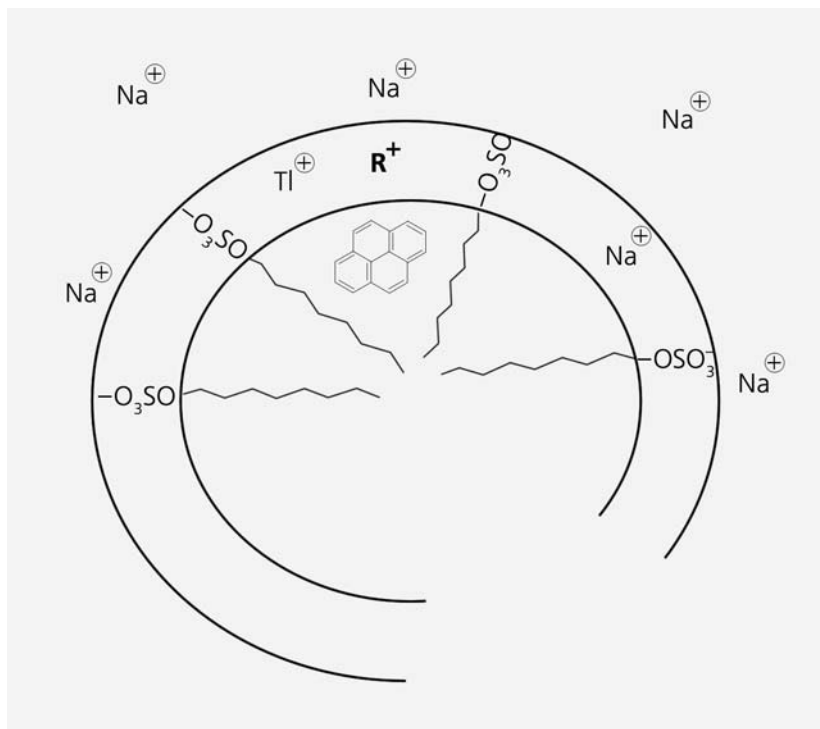


Рис. 8. Пример самосборки на мицелле додецилсульфата натрия компонентов реакции при триплет-триплетном переносе энергии.

аналитические и метрологические характеристики оптических и пьезокварцевых сенсоров [15]. Применяемые нами в качестве их чувствительных слоев наноразмерные пленки Ленгмюра—Блоджетт отличаются высокой организацией молекул в отдельных монослоях, воспроизводимостью толщины и быстрым откликом аналитического сигнала.

Среди способов разделения и концентрирования большую популярность завоевали методы мицеллярной хроматографии и мицеллярной экстракции. Они позволяют исключить применение токсичных и резко пахнущих органических и неорганических растворителей, например уксусной кислоты, аммиака, пиридина [7]. Особенно большое внимание мы уделяли развитию метода тонкослойной хроматографии — выяснению закономерностей разделения в мицеллярных подвижных фазах. В итоге были разработаны простые и эффективные спосо-

бы разделения консервантов, органических реагентов и красителей [16].

Мицеллярная экстракция предусматривает объединение и выделение в отдельную макрофазу огромного числа имеющих мицелл. Осуществляется это разными манипуляциями: нагреванием раствора (неионные ПАВ), добавлением кислоты (анионные ПАВ) или электролита (катионные ПАВ). Такой способ экстракции относят к методам «зеленой» химии, поскольку в нем исключено применение токсичных органических растворителей — обычных средств для этой цели. Разрабатывая экспресс-диагностику ПАУ в объектах окружающей среды, мы объединили мицеллярную экстракцию с анионными ПАВ и метод С-ФКТ [17].

По мнению Ю.А.Золотова, главы аналитической химии России, организованные среды, «работающие» на принципах нано- и супрамолекулярной хи-

мии, занимают важное место в современном химическом анализе.

* * *

Области использования организованных сред чрезвычайно разнообразны. В медицине и фармакологии их применяют, например, для увеличения растворимости веществ, доставки лекарств в организме, приготовления мазей и гелей. На образовании мицеллярных растворов основано действие синтетичес-

ких моющих средств, шампуней, значительное увеличение нефтеотдачи земных пластов. В химии и биохимии организованные среды применяют в реакциях трансмембранного транспорта, в неорганическом и органическом синтезе, полимеризации, межфазном и мицеллярном катализе, различных методах химического анализа, для разделения и концентрирования веществ, в химических сенсорах, процессах крашения. Организованные системы используют

в лазерах на красителях для фотосенсибилизации, трансформации или для сохранения энергии электронного возбуждения. В последнее время с помощью мицелл и микроэмульсий получают наночастицы (притом с узким распределением по размерам) металлов, их оксидов, сульфидов, ферромагнетиков, полимеров. В целом сфера применения организованных сред с их необычными свойствами в разных областях науки и в технологиях постоянно расширяется. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-03-00725а.

Литература

1. Менделеев Д.И. Основы химии. СПб., 1903.
2. Фиалков Ю.А. Растворитель как средство управления химическим процессом. Л., 1990.
3. Штыков С.Н. // *Universitates*. 2003. №2. С.20—25.
4. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды. М., 1998.
5. Фиалков Ю.А. Не только в воде. Л., 1989.
6. Березин И.В., Мартинек К. Основы физической химии ферментативного катализа. М., 1977.
7. Штыков С.Н. // *Журн. аналит. химии*. 2002. Т.5. №10. С.1018—1028.
8. Сид Дж.Б., Этвуд Дж.Л. Супрамолекулярная химия: В 2 т. М., 2007.
9. Карцев В.Н., Штыков С.Н., Штыкова Л.С. // *Коллоид. журн.* 2005. Т.67. №4. С.479—484.
10. Саввин С.Б., Штыков С.Н., Михайлова А.В. // *Успехи химии*. 2006. Т.75. №4. С.380—389.
11. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества. М., 1991.
12. Pratauro E., Pelizzetti E. *Surfactants in Analytical Chemistry. Application of Organized Amphiphilic Media*. Amsterdam, 1996.
13. Мчедлов-Петросян Н.О. Дифференцирование силы органических кислот в истинных и организованных растворах. Харьков, 2004.
14. Мельников Г.В., Горячева И.Ю., Штыков С.Н. // *Доклады АН*. 1998. Т.361. №1. С.72—73.
15. Штыков С.Н., Коренман Я.И., Русанова Т.Ю. и др. // *Доклады АН*. 2004. Т.396. №4. С.508—510.
16. Штыков С.Н., Сумина Е.Г., Тюрина Н.В. // *Рос. хим. журн.* 2003. Т.47. №171. С.119—126.
17. Goryacheva I.Yu., Shtykov S.N., Loginov A.S., Panteleeva I.V. // *Anal. Bioanal. Chem.* 2005. V.382. P.1413—1418.

Полезные микробы — кто они?



А.Н.Суворов

Когда Паниковский — герой бессмертной книги Ильфа и Петрова «Золотой теленок» — агитирует за ежедневное потребление кефира, смешно всем, и прежде всего из-за парадоксальности ситуации: кефир рекламирует неудачник, больной человек, ведущий вовсе не здоровый образ жизни. Правда, во времена авторов кефир действительно был атрибутом здорового питания. В настоящее время мы тоже благосклонно относимся к молочнокислым продуктам, и в первую очередь благодаря рекламе, убеждающей, что это верное средство избавляет от весенней сонливости, укрепляет иммунитет, защищает от вредных бактерий и улучшает пищеварение, да так, что пища беспрепятственно, как на американских горах, несется по пищеварительному тракту. Все бы хорошо, но только из-за безответственной рекламы, а отчасти и от недостатка научных знаний нынешнее отношение к продуктам и препаратам (*пробиотикам*), содержащим молочнокислые или другие бактерии, как к источникам здоровья очень неоднозначно.

В Интернете даже при поверхностном поиске обнаруживается немало статей, в которых роль молочнокислых продуктов и пробиотиков необоснованно преувеличена или, напротив, низводится до чего-то в лучшем случае бесполезного, если не опасного, а нарушение нор-



Александр Николаевич Суворов, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией генетики патогенных микроорганизмов ГУ НИИ экспериментальной медицины РАМН (Санкт-Петербург). Занимается исследованием молекулярных механизмов патогенности бактерий, в частности факторов вирулентности стрептококков, а также изучением свойств пробиотиков и механизмов, обеспечивающих их действие. Лауреат I премии Российской академии медицинских наук за цикл работ по генетике стрептококков (в соавторстве с А.В.Дмитриевым, 1998).

мального микробиоценоза человеческого организма (*дисбактериоз*) нередко рассматривается как клинически малозначимое.

Клиницисты больше всего внимания уделяют дисбактериозу кишечника, при этом роль И.И.Мечникова в развитии данного направления обычно ограничивают тем, что он впервые предположил наличие связи между долгожительством и употреблением простокваши. Последователей же Мечникова обвиняют в том, что они изобрели термин «дисбактериоз кишечника» ради наживы — для получения денег от пациентов за микробиологические анализы. Попытаемся разобраться, насколько представления о дисбактериозе и полезности молочнокислых продуктов, в част-

ности кефира, соответствуют современному научным данным.

Мы и микрофлора

В настоящее время мало найдется серьезных ученых, которые станут оспаривать роль микроорганизмов в эволюции всего живого и человеческого организма в частности. Возникновение многоклеточности, вероятно, происходило в мире, в котором безраздельно властвовали бактерии. Неудивительно, что в ходе эволюции эукариот все процессы (совершенствование органов и систем, обмен веществ, распознавание и защита от воздействия нежелательных факторов окружающей среды и т.д.) происходили в непосредственном контакте с миром

микроорганизмов. Их количество в организме современного человека существенно превышает число его собственных клеток — только бактерий в сотни раз больше, а ведь есть еще простейшие, вирусы и грибы, и их тоже немало. К примеру, геном человека буквально «нашпигован» ретровирусами — их около 10%, что сравнимо с размером кодирующих последовательностей нуклеотидов хромосомной ДНК.

Определить общее количество видов микробов, обитающих в организме человека, архисложно в первую очередь потому, что большинство бактерий мы до сих пор не научились

культивировать, и полученные данные основываются лишь на результатах генетических исследований.

Основные места обитания бактерий в нашем организме — кишечник, кожные покровы, мочеполовая система и ротовая полость. Только в ротовой полости идентифицировано около 700 видов бактерий, при этом для каждого из них строжайшим образом определены место, функция, а также последовательность колонизации (рис.1). Самый густонаселенный бактериями орган — толстый кишечник, в котором, по оценкам разных авторов, от 700 до 7000 видов микроорганизмов [1, 2].

Столь большой разброс в цифрах указывает, с одной стороны, на дефицит знаний о микрофлоре и ее роли в организме, что открывает широкое пространство для спекуляций, а с другой — на прогресс в современных подходах к идентификации и культивированию бактерий. Уже сегодня очевидно, что сформировавшиеся ранее представления о видовом составе микрофлоры с доминированием бифидо- и лактобактерий далеки от реалий.

На самом деле в кишечнике преобладают два подразделения бактерий — грамтрицательные Bacteroides и грамположительные Firmicutes, каждое из кото-

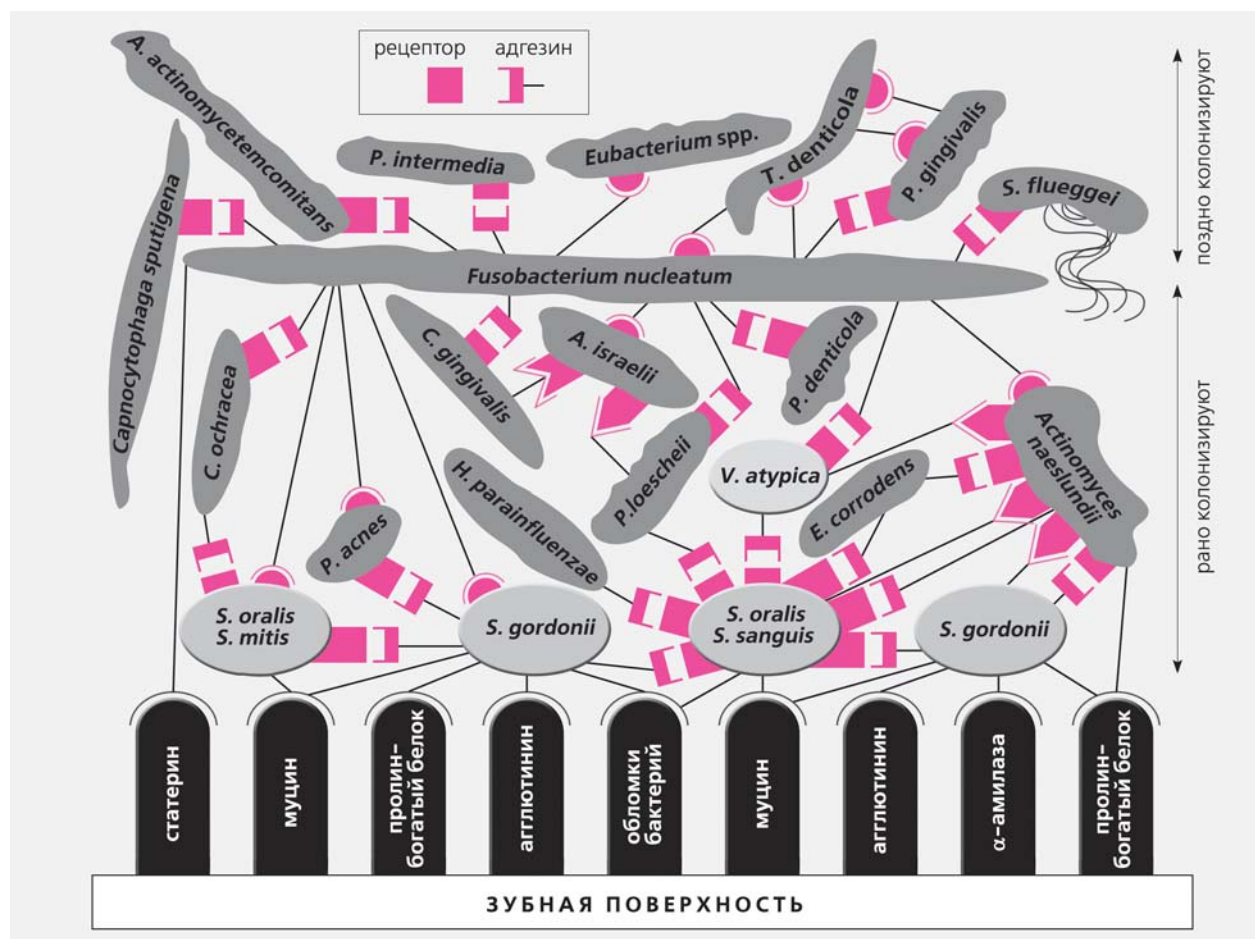


Рис.1. Видовая организация микроорганизмов на поверхности зубной эмали. Первые бактерии колонизируют ее либо посредством специальных поверхностных белков адгезинов и агглютининов, либо опосредованно — за счет фрагментов погибших бактериальных клеток или секретируемых белков типа статерина. К рецепторам на поверхности «ранних колонистов» присоединяются другие виды бактерий («поздние колонисты») за счет специфических адгезинов. Последовательность присоединения бактерий строго ранжирована. От видового состава бактерий на зубной поверхности существенно зависят возможные заболевания [19].

Виды микроорганизмов, наиболее часто встречаемые в толстом кишечнике человека [20]

<i>Bacteroides vulgatus</i>
<i>Bacteroides species</i>
<i>Bacteroides fragilis</i>
<i>Bacteroides thetaiotaomicron</i>
<i>Peptostreptococcus micros</i>
<i>Bacillus</i> sp. (все виды)
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>
<i>Eubacterium aerofaciens et lactobacillus</i> sp.
<i>Bifidobacterium infantis</i>
<i>Ruminococcus albus</i>
<i>Peptostreptococcus intermedius</i>
<i>Fusobacterium russii</i>
<i>Bifidobacterium infantis</i> ss. <i>liberorum</i>
<i>Enterococcus faecium</i>
<i>Bifidobacterium longum</i> ss. <i>longum</i>

рых объединяет сотни видов бактерий. Их комбинации уникальны для индивидуума, что связано с условиями жизни конкретного человека и набором постоянно поступающих в его организм (в основном с пищей) микроорганизмов, составляющих так называемую транзиторную микрофлору.

С незапамятных времен люди научились использовать молочнокислые бактерии (в первую очередь, лактобациллы, лактококки и энтерококки) для ферментации молока, злаков, овощей, грибов и даже мяса, чтобы сделать эти продукты питания пригодными к употреблению в течение длительного времени. В результате постепенной селекции бактериальных штаммов, наиболее подходящих для консервации продуктов, в разных регионах мира возникли оптимальные консорциумы микроорганизмов, которые используются в качестве закваски для приготовления йогуртов или кефира. Параллельно, на фоне употребления ферментированных продуктов, содержащих высокие концентрации бактерий, происходила эволюция иммунной системы человека и его ферментативного аппарата. Одним из первых ученых, обратившим внимание на зависимость состояния здоровья нашего ор-

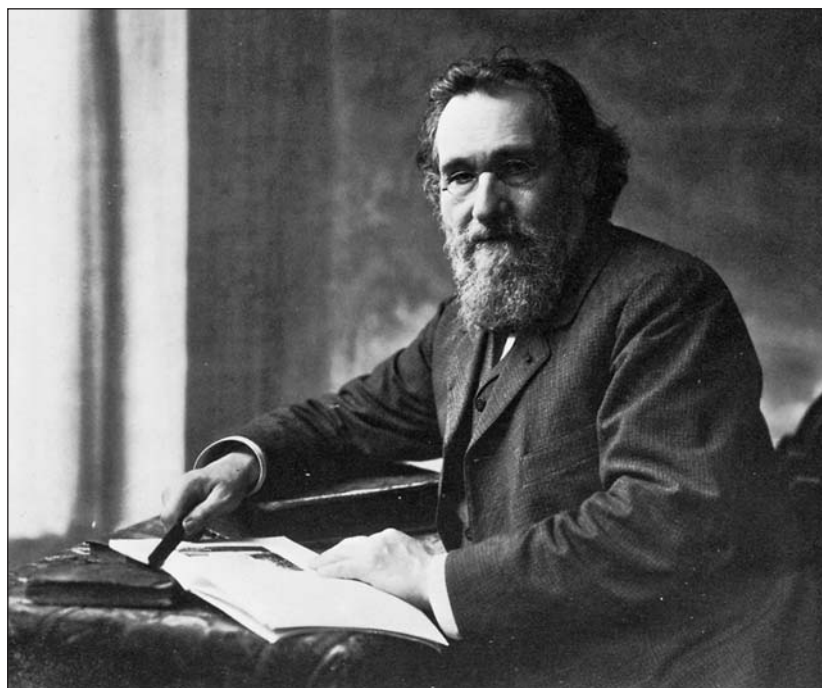


Рис.2. И.И.Мечников в Институте Пастера в Париже.

Фото Надара

ганизма от потребления молочнокислых продуктов, стал Мечников (рис.2).

Прозорливость И.И.Мечникова

Сегодня, через 100 лет после присуждения Илье Ильичу Нобелевской премии, мало кто помнит, что именно он стал родоначальником и научным пропагандистом употребления в лечебных целях молочнокислых продуктов питания.

Известно, что Мечников, работая с конца 80-х годов XIX в. в Институте Пастера в Париже, провел многочисленные эксперименты, позволившие сформулировать основные положения, касающиеся роли нормальной микрофлоры человека в его защите от инфекций. Так, еще в 1894 г. Мечников доказал способность микрофлоры кроликов препятствовать развитию у них холерной инфекции. Другое важнейшее его достижение — использование безмикробных животных (*гнотобион-*

тов) для изучения функций бактериальных сообществ (*микробиоценозов*). В экспериментах на разных модельных объектах (головастиках, морских свинок, цыплятах) он выяснил, что животные, лишённые свойственных им кишечных бактерий, существенно медленнее развиваются и практически беззащитны перед инфекциями [3]. В настоящее время эти исследования выделены в отдельное научное направление, позволяющее раскрывать тайны как микробиоты, так и человеческого организма в целом.

Мечников впервые обратил внимание на ценность молочнокислых продуктов, заметив, что их микробный состав, который сложился в результате многовековой селекции наиболее эффективных бактериальных штаммов, максимально соответствует нормальной микрофлоре человека. В «Этюдах оптимизма» Илья Ильич пишет, что «продуктами, подвергающимися молочному брожению и потребляемыми в сыром виде (кислое молоко, кефир, кумыс, квас, кислая

капуста, соленые огурцы и т.п.) <...> люди совершенно бессознательно ограждали себя от вредного действия кишечного загнивания» [4].

Разработанный Мечниковым метод выделения чистых культур позволил, с одной стороны, контролировать процесс приготовления молочнокислых продуктов и оценивать качество конечного продукта, а с другой — начать создавать коллекции чистых культур молочнокислых бактерий с ценными целебными свойствами. Первый пробиотик — *лактобациллин*, созданный на основе ставшего впоследствии всемирно известным

штамма лактобацилл «болгарской палочки», был также разработан в лаборатории Мечникова.

Мечников понял, что молочнокислые бактерии не только защищают организм человека от патогенных микроорганизмов, но и благотворно влияют на кишечное пищеварение, поэтому считал целесообразным прием концентрированных заквасок людьми с непереносимостью лактозы [3]. Оценивая результаты исследований на безмикробных животных, Мечников отметил, что «прибавление микробов, одаренных значительной пищеварительной силой, легко могло пополнить недостаточ-

ность собственных ферментов кишечного канала» [3]. Эти слова были подтверждены, в частности, в опытах Бернардского, в которых лактобациллин стимулировал выделение пищеварительных соков у собак.

Мечников предложил лечить пробиотиками и различные соматические заболевания — хронический энтероколит, гипертоническую болезнь, атеросклероз и даже болезни кожных покровов. Г.А.Макаров в начале 20-го столетия попытался лечить лактобациллином, приготовленным по методу Мечникова, больных атеросклерозом [5]. Однако отмеченная у больных положительная динамика не приводила к радикальному улучшению клинического состояния. Тогда эти относительные неудачи связывали со сложностью замены собственной «дикой» кишечной микрофлоры на «одомашненную». Сейчас очевидно, что чрезвычайно сложный состав микробиоценоза кишечника характеризуется одновременно и удивительным разнообразием, и индивидуальной стабильностью, поэтому в задачу пробиотика входит, скорее, восстановление индивидуальной микрофлоры, а не ее замещение.

Стабильность микробиоценоза формируется и поддерживается на основе противостояния (*антагонизма*) бактерий. Иными словами, победу одерживают те из них, которые способны вырабатывать различные антимикробные вещества, в частности бактериоцины — специфические белки, подавляющие жизнедеятельность других бактерий. (Например, в кишечнике человека колицины, вырабатываемые кишечной палочкой, *Escherichia coli*, вызывают гибель патогенных энтеробактерий — шигелл и сальмонелл.) По данным молекулярной генетики, гены бактериоцинов чаще всего несут именно молочнокислые бактерии из длительно применяемых заквасок, а не их близкие родственники, обычно живущие

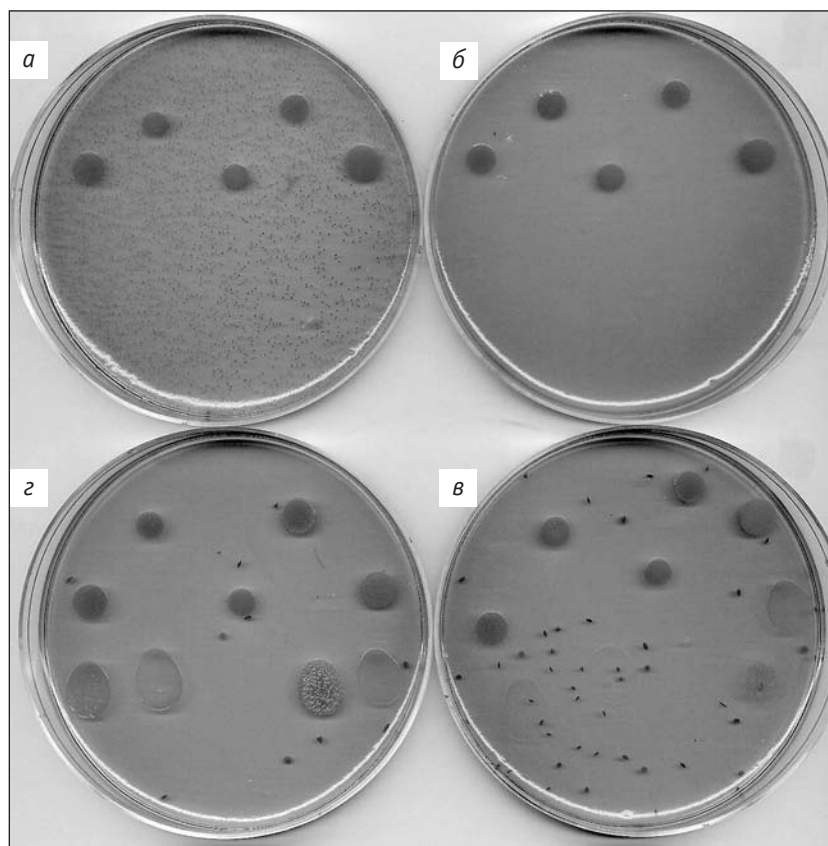


Рис.3. Подавление роста патогенных бактерий штаммом-пробиотиком L3 при сохранении жизнеспособности полезных штаммов. На чашки Петри с внесенным в агаровый слой штаммом L3 в различных разведениях от 10^8 КОЕ (а) до 10^1 КОЕ (г) наносились каплями штаммы пробиотиков и патогенных бактерий. Верхний ряд: *L.acidophilus*, *L.casei*, *L.delbrueckii*, *L.plantarum*, *E.faecium* L3. Нижний ряд — патогенные бактерии *S.typhimurium* VT, *E.coli* ATCC 25922, *S.aureus* 209, *S.aureus* ATCC 25923, *E.fecium* ATCC 29212. На чашке (г) с наиболее низкой концентрацией бактерий пробиотика наблюдается незначительный рост патогенов. Публикуется с согласия Е.И.Ермоленко

в кишечнике [6]. Понятно, что степень антагонизма у бактерий, входящих в состав пробиотиков, по отношению к нормальным обитателям кишечника должна быть низкой (рис.3).

Очевидно, что по объему знаний и методическим возможностям XXI в. несравним с концом XIX в. В распоряжении ученых и врачей того времени не было ни современных антибиотиков и антисептиков, ни снижающих кислотность блокаторов протонной помпы и эффективных гормональных препаратов, ни биохимических анализаторов, секвенаторов и микрочиповых принтеров. Только удивительная научная проницательность Мечникова позволила ему сформулировать основные положения о роли кишечной микрофлоры в жизнедеятельности организма и правильно определить огромный лечебный потенциал микробных компонентов привычной пищи, которые актуальны и сегодня. В определенной степени трагедия Мечникова как ученого заключалась в том, что он не смог убедить научную общественность в значении своих открытий. Он с горечью пишет: «на аптечном рынке появилось большое количество разных препаратов, из коих многие, к сожалению, не достигают цели» [3].

Дисбактериоз

Падение интереса к микрофлоре и лечебным свойствам бактерий из-за отсутствия ярких и понятных клиницистам полезных для пациентов эффектов произошло во всем мире на фоне появления новых лекарств, в первую очередь — антибиотиков. Советский Союз оказался практически единственной страной, где системно продолжали развиваться идеи Мечникова. В результате длительных исследований были разработаны препараты с использованием таких бактерий, как кишечная палочка, бифидо-

бактерии и лактобациллы. Известные отечественные препараты пробиотиков — бифидумбактерин, колибактерин и лактобактерин — были созданы в результате тщательной селекции штаммов бактерий по критериям безопасности и клинической эффективности.

Возникновение термина «дисбактериоз кишечника» — результат очень обстоятельных и достойных исследований, посвященных нормальному микробиоценозу. Чтобы в этом убедиться, достаточно ознакомиться с изданной в 1955 г. монографией А.Г.Перетца «Значение нормальной микрофлоры для организма человека», в которой блестяще описаны особенности взаимодействия человека и микробиоты [7]. Термин «дисбактериоз» (или «дисбиоз», что более правильно, поскольку в кишечнике помимо бактерий присутствуют и другие организмы) не получил распространения в зарубежной литературе, так как отечественная медицинская наука в данном направлении длительное время опережала западную. Однако редкое употребление термина не может отменить существование феномена, который к тому же стал столь широко распространен в последнее время.

Созданные критерии, характеризующие степень тяжести дисбактериоза (например, по классификации Г.Г.Кузнецовой, И.Б.Куваевой или В.М.Бондаренко [8]), позволяют объективнее оценить состояние больного по сравнению с новомодным, но менее информативным термином «избыточный рост кишечной микрофлоры» (от англ. *small intestinal bacterial overgrowth*, SIBO, или *small bowel bacterial overgrowth*, SBBO). Этот термин даже не предлагает оценивать видовую характеристику бактерий, ограничиваясь лишь их количественным изменением в тонком кишечнике [8]. Причина данного расхождения, на мой взгляд, проста. Эпоха антибиотиков оказала глобальное,

но не всегда благотворное воздействие на подходы к лечению больных инфекционными заболеваниями. Для клиницистов Западной Европы и Северной Америки главное — быстрое уничтожение микробного возбудителя заболевания и скорейшее возвращение человека на рабочее место, а сохранение его микрофлоры никого не заботит. Заслуга отечественной школы микробиологии — учет последствий лечения антибиотиками. Неслучайно именно в России до сих пор врачи нередко назначают пробиотики во время и после антибиотикотерапии и следят за изменениями состава микрофлоры.

В последнее время появились разработки новых (в том числе и молекулярно-генетических) методов оценки состояния микрофлоры кишечника, однако в медицинской практике об этом по-прежнему судят по результатам анализа кала на дисбактериоз. Конечно, этот тест имеет условную ценность, не отражает всего многообразия кишечной микрофлоры и во многом зависит от опытности микробиологов. Но ведь отказ от старого метода оправдан только при наличии иного, более совершенного. Пока же никакого другого объективного, специфичного и доступного для широкой практики критерия оценки состояния микрофлоры нет ни у нас, ни за рубежом.

Недавние открытия в области иммунологии, белковой химии и молекулярной генетики привели к двум очень важным выводам: во-первых, микрофлора человеческого организма чрезвычайно разнообразна (при этом до сих пор неизвестно, по разным оценкам, от 50% до 70% видов микроорганизмов, обитающих только в кишечнике), а во-вторых — строго индивидуальна для каждого человека. Оказалось, что характер индивидуальности микрофлоры определяется системой врожденного иммунитета. Феномен иммунологической то-

лерантности организма человека к собственной микрофлоре — одна из наиболее актуальных и интригующих проблем современной иммунологии*.

Микроорганизм находится в сложнейшем молекулярном взаимодействии как с системой иммунитета хозяина, так и с клетками других бактерий (которые могут относиться к тому же штамму) или даже других микроорганизмов. Многоэтапная и многоступенчатая оркестровка таких взаимоотношений осуществляется посредством бесчисленного количества биохимических соединений. К настоящему времени наиболее изучены такие сигнальные молекулы, как N-ацетил гомосерин лактоны грамотрицательных бактерий и циклические пептиды грамположительных микроорганизмов, определяющие так называемое чувство кворума [2]. Установлено, что большинство такого рода бактериальных реакций реализуется через многочисленные двухкомпонентные сигнальные системы, однако как происходит настройка межмикробных взаимодействий на уровне всего многообразия бактериальных участников каждого конкретного биотипа (сейчас всерьез говорят о бактериальной памяти и интеллекте [9]) — неизвестно. Известно другое — пренебрежительное отношение к сформировавшемуся естественным путем микробиоценозу кишечника, ротовой полости или кожных покровов приводит к серьезным системным нарушениям функционирования всего организма.

Исследования, проведенные в некоторых западноевропейских странах, показали, что резко возросший уровень аллергических заболеваний у детей напрямую связан с состоянием микрофлоры их кишечника и взаимоотношением отдельных компонентов микробиоты [10]. Важным оказался стиль

* Подробнее см.: Лебедев К.А., Полякина И.Д. Новый этап развития иммунологии // Природа. 2006. № 4. С. 3—10.

воспитания детей раннего возраста — в странах с высокоразвитой гигиеной эта проблема проявилась наиболее остро. Все больше ученых стали поддерживать так называемую гигиеническую теорию возникновения дисбиозов, которая связывает нарушения в системе иммунитета с недостаточной микробной нагрузкой [11]. Хотя механизмы, которые реализуют воздействие нормальной микрофлоры на систему иммунитета, пока до конца не выяснены, никто уже не ставит под сомнение значение микробиоты в формировании и нормальном функционировании иммунной системы.

Пробиотики

В настоящее время исследования в области пробиотиков на Западе переживают второе рождение. Стало ясно, что идея помощи всем страждущим одним набором «полезных» бактерий себя не оправдывает. С помощью современных методов молекулярной биологии и иммунологии установлено, что штаммы-пробиотики достаточно четко делятся на две группы по характеру их воздействия на систему иммунитета человеческого организма (по особенности дифференцировки Т-лимфоцитов). Первая группа стимулирует выработку так называемых провоспалительных цитокинов, а вторая — противовоспалительных [12]. Значит, сфера применения и спектр лечебного действия штаммов-пробиотиков должны быть различными.

Еще недостаточно изучена глобальная роль микрофлоры в метаболизме человека, но хорошо известно, что в ее функции входят синтез витаминов, расщепление пищевых компонентов, устойчивых к действию пищеварительных ферментов кишечника, поддержание рН, гидролиз мочевины, деконъюгирование билирубина, микробная инактивация токсинов и др. [1, 13]. Бактерии немало получа-

ют от нас — до 45 г углеводов из нашего ежедневного рациона уходит на пропитание кишечных обитателей [1], но «в награду» они расщепляют до 30% неперевариваемых белков, 25% всей мочевины, неперевариваемые полисахариды и липиды.

Не стоит забывать и о роли «полезных» бактерий в защите от патогенов. Все поверхности нашего организма (кожа, ротовая полость, включая зубную эмаль, желудочно-кишечный тракт, половые органы) в норме покрыты биопленками из бактерий и грибов, которые по видовому составу строго соответствуют своей области обитания. Изменение состава или удаление привычных микробных консорциумов моментально освобождает вакантные участки для других обитателей, включая выраженных патогенов. Из этого следует, что любые лечебные воздействия должны осуществляться с оглядкой на возможный урон, который они смогут нанести нормальному микробиоценозу. В таком случае неопределима роль пробиотиков — попадая в желудочно-кишечный тракт, они вырабатывают антимикробные факторы (молочную кислоту, бактериоцины, лизоцимы и т.д.) и убивают (избирательно элиминируют) патогены, за счет чего восстанавливается исходный микробиоценоз [14]. Так, например, действует пробиотический штамм энтерококков L3, антимикробная активность которого основана на синтезе двух низкомолекулярных пептидов — энтероцинов А и В (рис. 4). Их продукция, в свою очередь, регулируется двухкомпонентной системой, реагирующей на ничтожные концентрации бактериальных феромонов.

Несмотря на то что сейчас все больше исследователей и клиницистов вновь обращается к пробиотикам и уже накоплен довольно большой опыт их использования при самых разных заболеваниях (табл. 1), по-настоящему достоверно доказан-

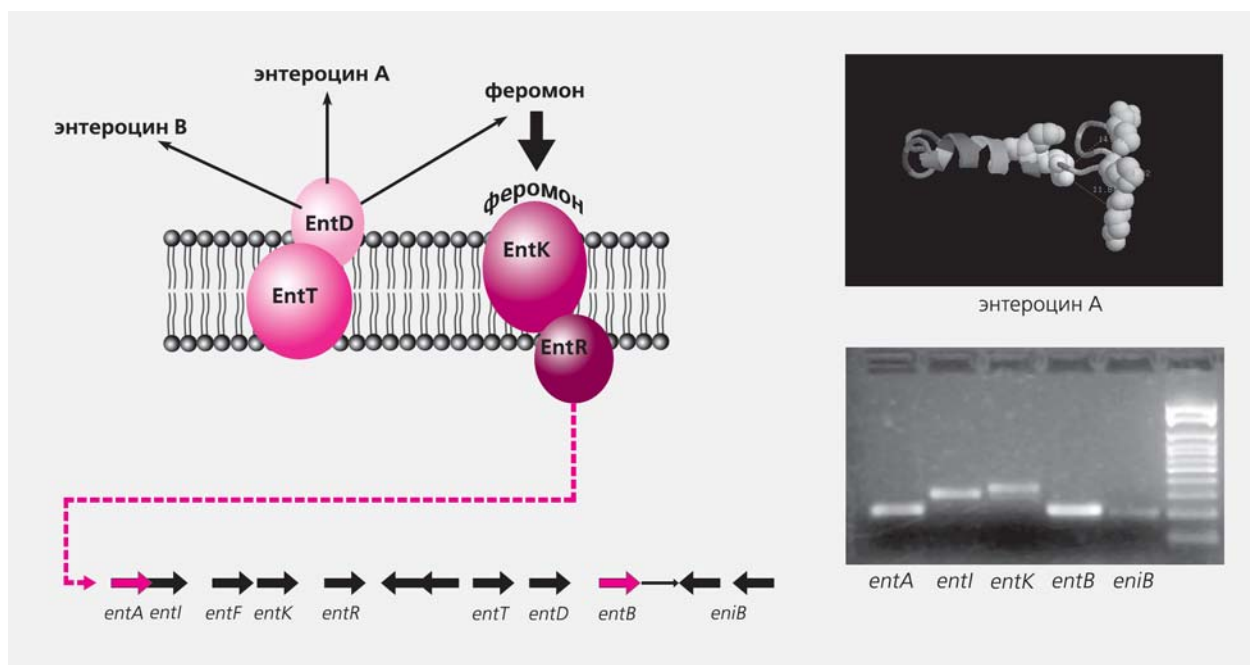


Рис.4. Регуляция экспрессии генов, участвующих в синтезе энтероцинов А и В. Продукция энтероцинов А и В (EntA, EntB) зависит от работы двухкомпонентной системы, состоящей из сенсорной гистидинкиназы (EntK) и белка-регулятора ответа (EntR). Последний способен связываться с ДНК в области промоторов генов энтероцинов и таким образом влиять на их экспрессию. Гистидинкиназа, в свою очередь, регулируется белками-феромонами (EntF), секретируемыми во внешнюю среду. Появление феромонов в достаточной концентрации становится химическим сигналом, указывающим бактерии, что количество бактерий-продуцентов энтероцинов позволяет им резко повысить выработку антимикробных агентов-энтероцинов и «побороться» за жизненно важные метаболиты. Оперон бактериоцинов помимо структурных генов самих бактериоцинов и феромона включает гены, кодирующие белки трансмембранного транспорта, (*entT*, *entD*) и гены устойчивости к бактериоцинам (*entI*, *eniB*) На отдельных частях рисунка представлена трехмерная модель структуры энтероцина А энтерококков, а также электрофореграмма, демонстрирующая наличие генов данной системы в штамме *Enterococcus faecium* L3 — пробиотика в составе отечественного продукта ламиналакта.

Таблица 1

Некоторые механизмы клинического действия пробиотиков

Заболевания (синдромы)	Механизм действия пробиотиков
Аллергия (кожные поражения, ревматоидный артрит)	Обеспечение транслокационного барьера
Иммунологические нарушения (иммунный статус, реакция на вакцинирование)	Взаимодействие с иммунокомпетентными клетками и клеточными рецепторами
Онкогенез	Адсорбция мутагенов, ингибция патогенов, стимуляция иммунитета
Гипертоническая болезнь	Метаболиты как ингибиторы ACE
Воспалительные процессы толстой кишки, болезнь Крона	Снижение местной воспалительной реакции
Синдром избыточного бактериального роста в тонком кишечнике	Антимикробная активность, конкурентное исключение
Непереносимость лактозы	Доставка микробной лактазы в тонкий кишечник
Диарея (после приема антибиотиков, ротавирусной инфекции, колит, вызванный <i>C.dificile</i> , диарея путешественников)	Конкурентное исключение, усиление иммунного ответа
Вагиноз, воспаление мочеполовых путей	Конкурентное исключение
Синдром воспаленной толстой кишки	Изменение в составе или активности микрофлоры
Нарушение в уровне холестерина	Деконъюгирование желчных кислот
Карисес зубов	Изменение состава, способности к адгезии
Язвенная болезнь, вызванная <i>H.pylori</i>	Иммуномодуляция, конкурентное исключение
Алкогольные поражения печени	Ингибирование эндотоксин продуцирующей микрофлоры

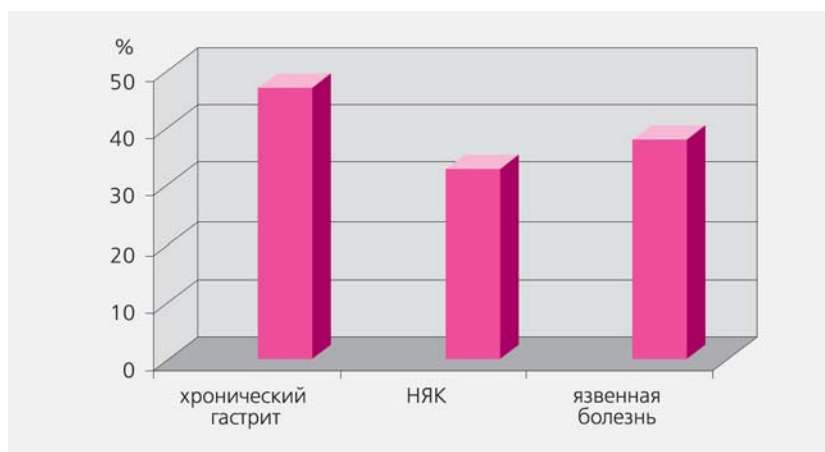


Рис.5. Сводные данные клинических исследований пробиотиков (штамм L3), приводивших к эрадикации *H. pylori* (на оси ординат обозначен процент эрадикации) у пациентов с различными патологиями желудочно-кишечного тракта. НЯК — неспецифический язвенный колит.

ных (т.е. в соответствии с современными критериями доказательной медицины) клинических эффектов пробиотиков пока немного. Среди них бактериальные препараты для лечения диарейного синдрома при ретрови-

русных инфекциях, диареи путешественников и неспецифического язвенного колита [15].

В нашей лаборатории, занимающейся изучением молекулярных механизмов вирулентности бактерий, установлено,

что среди энтерококков (стрептококков группы D) помимо патогенных для человека бактерий есть безопасные и даже весьма полезные штаммы. Некоторые из них уже давно и успешно используются в пищевой промышленности и входят в состав пробиотиков. Более того, удалось доказать, что штамм *Enterococcus faecium* L3 способен подавлять развитие (к эрадикации) *Helicobacter pylori* — возбудителя заболевания желудка и 12-перстной кишки [16] (рис.5). Таким образом, появилась возможность лечить эти болезни без применения антибиотиков.

На российском аптечном рынке сейчас представлены десятки пробиотиков отечественного и зарубежного производства на основе бифидобактерий, лактобацилл, энтерококков, дрожжей и эшерихий (табл. 2): бифидумбактерин, бифилиз, бифилин, лактобактерин, ламиналакт, ацилакт, аципол, витафлор, колибактерин, линекс, бификол, бифиформ и др. Безусловно, врачу трудно выбрать, какой пробиотик следует использовать для лечения конкретного заболевания. Рекомендации же клиницистов и микробиологов зачастую еще больше запутывают, поскольку пока они не пришли к единому мнению. До сих пор не существует общего понимания, чего следует добиваться врачу — приживления принимаемого бактериального штамма в кишечнике пациента или транзитного эффекта на собственную микробиоту? Неясно, какие штаммы, входящие в состав пробиотиков, лучше использовать и стоит ли вообще обращать внимание на штаммовый и даже видовой состав. Да и насколько важно использовать живые бактерии в составе пробиотиков? У серьезных врачей они вызывают недоверие и из-за явной коммерческой заинтересованности производителей, предлагающих лечить их препаратами все и у всех. Выбор активно рек-

Таблица 2

Некоторые штаммы бактерий, входящие в состав современных пробиотиков

Штаммы бактерий	Производители
<i>Lactobacillus acidophilus</i> NCIFM	Rhodia, Inc. (Madison, WI, USA)
<i>L.acidophilus</i> DDS-1	Nebraska Cultures, Inc. (Lincoln, NE)
<i>L.acidophilus</i> SBT-2062	Snow Brand Milk Products Co., Ltd. (Tokyo, Japan)
<i>L.acidophilus</i> LA-1 (or LA-5 in Europe)	Chr. Hansen, Inc. (Milwaukee, WI, USA)
<i>L.acidophilus</i> NC1713 1748	Arla (Stockholm, Sweden)
<i>L.paracasei</i> Shirota (Y1T 9018)	Yakult (Tokyo, Japan)
<i>L.paracasei</i> Immunitas (DN 014001)	Danone (Paris, France)
<i>L.paracasei</i> F 19	Arla (Stockholm, Sweden)
<i>L.jobnsonii</i> La- 1	Nestec Ltd. (Lausanne, Switzerland)
<i>L.paracasei</i> CRI- 431	Chr. Hansen
<i>L.plantarum</i> 299V	Inc. Probi AB (Lund, Sweden)
<i>L.reuteri</i> SD2112	Biogaia (Raleigh, NC)
<i>L.rhamnosus</i> GG* (ATCC 53103)	Valio Dairy (Helsinki, Finland)
<i>L.rhamnosus</i> 271	Probi AB
<i>L.rhamnosus</i> LB21	Essum AB (Umea, Sweden)
<i>L.rhamnosus</i> DR20 (HNO01)	Fonterra Cooperative Group Ltd (Auckland, New Zealand)
<i>L.salivarius</i> UCC 118	University College (Cork, Ireland)
<i>Bifidobacterium lactis</i> Bb-12 Chr.	Hansen
<i>B. longum</i> 1313536	Inc. Morinaga Milk Industry Co., Ltd. (Zama-City, Japan)
<i>B. longum</i> SBT-2928	Snow Brand Milk Products Co, Ltd
<i>B. breve</i> strain Yakult	Yakult
<i>B. lactis</i> DR10 (HNO19)	Fonterra Cooperative Group Ltd.

ламируемого пробиотика абсолютно понятен, но не всегда оправдан. Не облегчает задачи и устоявшаяся в общественном сознании боязнь бактерий. Словом, концептуально и идеологически мы не очень далеки от современников Мечникова.

Сейчас, с одной стороны, мы наблюдаем беспрецедентно быстрый рост производства пробиотиков крупнейшими мировыми компаниями со всепобеждающей рекламной поддержкой, но часто без адекватных научных данных, а с другой — лавинообразный рост новых научных знаний о микробиоте и воздействии на нее пробиотиков пока без какой либо связи с практикой. Но это пока. В Западной Европе, Америке, Корее, Китае и Японии происходит штурм проблем, связанных с пробиотиками и нормальной микрофлорой. Только международных конгрессов, посвященных этой теме, проходит более десятка ежегодно. Уже разработаны европейские критерии, регламентирующие необходимые предварительные исследования и порядок вывода пробиотиков на рынок (рис. 6).

Новые научные находки, касающиеся свойств пробиотиков, не заставляют себя ждать. В настоящее время полностью прочитаны геномы более 20 штаммов пробиотиков (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Современные возможности молекулярной генетики позволяют устанавливать ежегодно десятки новых видов обитателей толстого кишечника [17, 18]. С помощью методов геномики и протеомики выяснено, что штаммы-пробиотики могут радикально влиять на экспрессию генов как других бактериальных штаммов кишечника, так и самих клеток кишечного эпителия, включая или выключая сотни генов, имеющих отношение к реализации иммунного ответа и метаболических реакций. Сконструированы генно-инженерные штаммы пробиотиков, способные вырабатывать ранее несвойственные

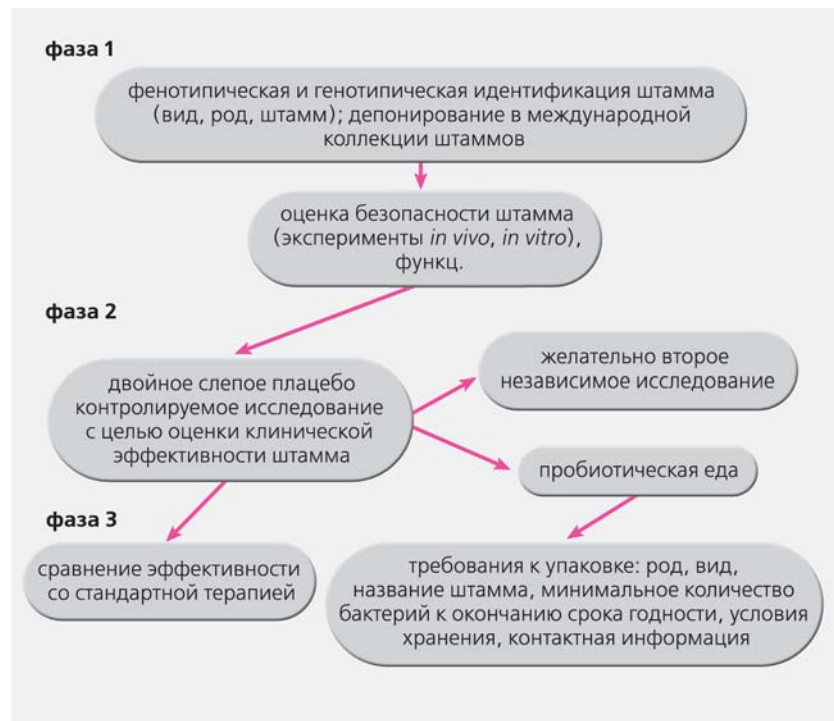


Рис.6. Современные требования к пробиотикам для клиники и общественного питания, разработанные ВОЗ в 2002 г. [13].

им антимикробные пептиды или белки человека, модулирующие иммунный ответ. Созданы микрокапсулы, способные анализировать состав микрофлоры по ходу пищеварительного канала, осуществлять видеозапись и при необходимости локально выбрасывать в просвет кишечника

пробиотики; разработаны пробиотики для коррекции дисбиозов как кишечника, так и влагалища, кожи и ротовой полости [17]. Установлено, что штаммы-пробиотики характеризуются селективностью антагонистического действия по отношению к определенным видам микро-

Вклад И.И.Мечникова в понимание роли собственной микрофлоры и значения молочнокислых бактерий

- впервые сформулировал положение о пользе микробного антагонизма для здоровья человека и доказал способность микрофлоры защищать от патогенов;
- впервые сумел выделить чистые культуры молочнокислых бактерий и сформулировал необходимость проводить исследования только с чистыми культурами бактерий;
- создал первый пробиотик — лактобациллин;
- впервые показал, что эффект пробиотиков обеспечивают в полном объеме только живые бактерии;
- один из первых поставил эксперименты с гнотобионтами и показал, что отсутствие нормальной микрофлоры может приводить к отставанию в развитии;
- впервые показал, что молочная кислота — не единственный фактор антагонизма молочнокислых бактерий (по сути предсказал наличие у бактерий антибиотикоподобных веществ);
- показал, что собственная микрофлора высших животных способна осуществить ферментирование пищевых продуктов;
- определил необходимость нормальной эвакуаторной функции кишечника как важнейшего фактора здоровья

организмов, а также по характеру местного иммунологического ответа клеток хозяина [10, 12]. В частности выяснилось, что в зависимости от штамма пробиотика или от их комбинации начинают вырабатываться разные интерлейкины, что регулируется TLR2 или TLR4 (от англ. Toll-like receptors — Toll-подобные рецепторы) — сигнальными белками эпителиальных клеток, которые первыми оповещают иммунную систему человека о вторжении патогена.

Теперь можно попытаться ответить на вопрос: почему в одном случае тот или иной пробиотик оказался эффективным, а в другом — нет? Очевид-

но, что все зависит как от индивидуальных особенностей и состояния больного, так и от специфичности пробиотика (на какой круг патогенов он действует) или определенного характера иммунного ответа (например, типа поляризации Т-хелперов). Все больше исследователей поддерживает предложение Б.А.Шендерова о целесообразности создания индивидуальных банков микрофлоры с целью восполнения микробиоценоза в случае возникновения дисбиоза [1].

Все это говорит о том, что именно сейчас идеи, высказанные в работах великого русского микробиолога Ильи Ильича

Мечникова, находятся на пороге своего истинного практического воплощения, и нет сомнений, что в ближайшем будущем на нашем фармацевтическом рынке появятся совершенно новые пробиотики с высокоспецифической лечебной направленностью.

Хочется верить, что второе рождение пробиотиков, происходящее в настоящее время, не станет исключительной заслугой зарубежных ученых и клиницистов (которые, к их чести, непременно отмечают Мечникова как своего идейного вдохновителя [18]) и получит должную поддержку в нашей стране. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 06-04-48949 и 06-04-08026.

Литература

1. Шендеров Б.А., Манвелова М.А. Функциональное питание и пробиотики: микробиологические аспекты. В помощь практикующему врачу. М., 1997.
2. Pbat M., Lemberg D.A., Day A.S. // *Med. J. Aust.* 2008. V.188. №5. P.304—308.
3. Мечников И.И. Избранные произведения. М., 1956. С.377.
4. Мечников И.И. Этюды оптимизма. М., 1964.
5. Макаров Г.А. О диетическом значении кислого молока проф. Мечникова. СПб.; М., 1907.
6. Klaenhammer T.R. // *FEMS Microbiol. Reviews.* 1993. №12. P.39—86.
7. Перетц А.Г. Значение нормальной микрофлоры для организма человека. М., 1955.
8. Ардатская М.Д., Минушкин О.Н., Иконников Н.С. Дисбактериоз кишечника: понятие, диагностические подходы и пути коррекции: Пособие для врачей. М., 2004.
9. Hellingwerf K.J. // *Trends Microbiol.* 2005. №13. P.152—158.
10. He F., Ouwehand A.C., Isolauri E. et al. // *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 2001. №30. P.43—47.
11. Kolodjjeva V., Yafaev R., Yermolenko E., Suvorov A. Incidence of Virulence Determinants in Enterococcal Strains of Probiotic and Clinical Origin // *New Insights Into an Old Enemy* / Ed. R.S.Sriprakash. Elsevier, 2006. P.367—370
12. Liu A.H. // *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* 2007. №21. P.2—7.
13. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. Т. II: Социально-экологические и клинические последствия дисбаланса микробной экологии человека и животных. М., 1998.
14. Kiatpapan P., Yamasbata M., Kawaraichi N. et al. // *J. of Bioscience and Bioengineering.* 2001. V.92. №5. P.459—65.
15. Heczko P.B., Strus M., Kochan P. // *J. of Physiol. and Pharmacol.* 2006. №57. P.5—12.
16. Симаненков В.И., Захарова Н.В., Боваева Д.И. и др. // *Гастроэнтерология Санкт-Петербурга.* 2004. №1. С.11—12.
17. Lan J.G., Cruickshank S.M., Singh J.C. et al. // *World J. Gastroenterol.* 2005. V.11. №22. P.3375—3384.
18. Redfield R.J. // *Trends Microbiol.* 2002. №10. P.365—370.
19. Kolenbrander P.E., Andersen R.N., Blebert D.S. // *Microbiol. J. of Molec. Biol. Rev.* 2002. V. 66. № 3. P. 486—505.
20. Finegold S.M., Attebery H.R., Sufter V.L. // *American J. of Clinic Nutrition.* 1974. № 27. P. 1456—1469.



Сверхпроводящие наноканалы выше комнатной температуры

А.В.Митин

Наиболее яркие страницы в почти 100-летней «биографии» сверхпроводимости связаны с исследованием свойств купратных соединений. Именно при изучении транспортных и магнитных свойств образцов системы Y-Ba-Cu-O были впервые обнаружены [1] воспроизводимые признаки перехода в сверхпроводящее состояние выше температуры кипения $T_b \approx 77$ К жидкого азота, широко распространенного и довольно дешевого хладагента. Преодоление психологически важного азотного барьера резко усилило интерес к высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Но несмотря на беспрецедентные усилия и достигнутый в последние годы прогресс в экспериментальном изучении локальных и объемных характеристик купратов, пока не удалось прийти к консенсусу по ряду ключевых аспектов, касающихся генезиса и природы ВТСП. К числу самых интригующих относится вопрос, возможно ли сверхпроводящее состояние при температуре выше комнатной. В поисках ответа на него мы сосредоточились на выявлении механизмов квазиодномерной структуризации ионов кислорода в базисной плоскости соединения $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ и порожденных ими вакансий (дырок) в $2p$ -оболочках кисло-



Александр Васильевич Митин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физических проблем им.П.Л.Капицы. Область научных интересов — экспериментальное и теоретическое изучение природы фундаментальных взаимодействий в сверхпроводящих соединениях.

родной подрешетки слоев CuO_2 . Прежде чем перейти к обсуждению полученных результатов, остановимся вкратце на поведении транспортных и магнитных свойств традиционных сверхпроводников.

Идеализация реальности или реализация идеала?

Представителям самых разных профессий не раз доводилось отсчитывать градусы по шкале ртутного термометра. Однако многим и невдомек, что отсвечивающая металлическим блеском тончайшая нить внутри стеклянного капилляра — не просто индикатор архаичного измерительного прибора, а прототип того самого чудо-проводника, с помощью которого в 1911 г. удалось впервые иден-

тифицировать новое состояние материи. Какие же препятствия пришлось преодолеть на пути к этому выдающемуся открытию? Наиболее трудный этап пришелся на 1908 г., когда Г.Камерлинг-Оннесу понадобилось мобилизовать все ресурсы основанной им Лейденской лаборатории, чтобы достичь намеченной цели: впервые в мире сконденсировать до состояния жидкости самый легкий инертный газ — гелий. Когда страсти вокруг этого грандиозного события улеглись, ушло еще немало времени и сил, чтобы довести «до ума» установку для получения жидкого гелия и тем самым создать предпосылки для прорыва в область немислимо низких (по представлениям тех лет) температур $T < 4.2$ К.

В числе первоочередных задач Камерлинг-Оннес наметил

© Митин А.В., 2009

устранить пробелы в существовавших тогда представлениях о поведении электросопротивления $\rho(T)$ металлов при $T \rightarrow 0$ К. В качестве объектов для исследований были выбраны самые чистые в те годы проводники: золото и платина. Полученные данные показали, что даже при мизерной концентрации примесей 0.005% температурные зависимости $\rho(T)$ золотых проводов при $T \rightarrow 0$ К выходят на некую константу ρ_0 , отделяющую образец от нулевого сопротивления идеального металла. С намерением преодолеть барьер остаточного сопротивления ρ_0 на пути к реализации идеала Камерлинг-Оннес остановил свой выбор на ртути, из которой посредством многократной дистилляции можно было попытаться извлечь почти все примеси.

Чтобы обеспечить максимальную чувствительность при регистрации исчезающе малых значений ρ , образцы были приготовлены в виде тонких проводников, надлежащая конфигурация которых обеспечивалась путем заполнения очищенной ртутью стеклянных капилляров. Уже в ходе первых измерений Камерлинг-Оннес с удивлением обнаружил: вместо ожидаемого монотонного уменьшения с температурой зависимости $\rho(T)$ демонстрируют в высшей степени странное поведение — крутой скачок до неизмеримо малой величины ниже $T \approx 4.15$ К. Причем особенно изумляло то, что падение $\rho(T)$ по меньшей мере в десятки тысяч раз происходило в интервале температур менее 0.1 К. Более того, как вскоре выяснилось, чистота образцов не оказывала решающего влияния на поведение $\rho(T)$, отражаясь в основном на ширине перехода.

С учетом всех этих обстоятельств Камерлинг-Оннесу не оставалось ничего другого, как предположить, что ниже критической температуры $T_c \approx 4.15$ К реализуется состояние идеального проводника, для обозначения которого он ввел термин

сверхпроводимость. В этом состоянии носители заряда из зоны проводимости должны свободно передвигаться в избранном направлении без выделения тепла и прочих энергопотерь. А раз так, то при $T < T_c$ в металле реализуется режим бездиссипативного транспорта, когда полностью отсутствует сопротивление электрическому току и, как следствие, закон Ома, столь почитаемый в электротехнике, перестает выполняться.

Правомерность введенного Камерлинг-Оннесом термина получила неоспоримое подтверждение в опытах со сверхпроводящими кольцами, в которых длительное время (несколько лет) циркулировал индуцированный магнитным полем ток без видимых признаков «затухания». Такого рода опыты позволили установить, что по сравнению с чистым золотом, охлажденным до 4.0 К, сопротивление сверхпроводящего кольца должно быть минимум на 14 порядков меньше!

Если данный металл способен перейти в сверхпроводящее состояние при $T < T_c$, то кроме статуса идеального проводника он имеет право претендовать и на титул идеального диамагнетика. Для этого надо, чтобы при $T < T_c$ напряженность внешнего магнитного поля H на поверхности массивного образца с нулевым размагничивающим фактором* не превышала критического значения $H_{cm}(T)$. В таком случае магнитный поток будет выталкиваться из сверхпроводника вне зависимости от момента включения магнитного поля: до или после перехода образца в сверхпроводящее состояние. Выталкивание магнитного потока (эффект Мейсснера—Оксенфельда) обусловлено его ком-

* Размагничивающий фактор показывает, насколько легко можно перемагнитить образец внешним полем; он близок к нулю, когда образец в форме длинного цилиндра ориентирован параллельно полю, и достигает максимума ≈ 1 для тонкой пластины, развернутой перпендикулярно полю.

пенсацией циркулирующими в поверхностном слое сверхпроводника токами. Поскольку плотность незатухающих токов сверхпроводящего происхождения ограничена критической величиной $J_c(T, H)$, которая зависит от температуры и магнитного поля, критерий идеального диамагнетизма не будет выполняться в случае миниатюрных образцов, особенно вблизи T_c . Это связано с довольно значительной толщиной экранирующего слоя сверхпроводника, где происходит компенсация внешнего поля H_0 . В чистых элементарных металлах (Al, Hg, In, Sn, ...), охлажденных ниже T_c , убывание напряженности поля H по мере удаления от поверхности на глубину x обычно аппроксимируется экспонентой $H = H_0 \exp(-x/\lambda)$, где λ — лондоновская глубина проникновения (при $T \rightarrow 0$ К она превышает период кристаллической структуры металлов в сотни раз). В такой же пропорции, как и H , убывает плотность экранирующих токов. Таким образом, в случае незамкнутых непересекающихся проводников с диаметром $d < 10^{-5}$ см диамагнитный (отрицательный) вклад от незатухающих токов вполне может затеряться на фоне положительных по знаку составляющих магнитного момента $M(H, T)$, обусловленных, к примеру, парамагнетизмом и/или примесным ферромагнетизмом образца.

Вариации на тему экранирующих токов и их роли в диамагнитном отклике сверхпроводников возникли здесь неслучайно: благодаря магнитному полю можно, в частности, «высветить» знак энергии σ_{ns} границы раздела между нормальными и сверхпроводящими областями данного материала. В случае сверхпроводников первого рода с $\sigma_{ns} > 0$, к которым относятся практически все чистые металлы (Al, Hg, In, Sn, ...), такие границы обычно наблюдаются на образцах в форме пластин, развернутых перпендикулярно силовым линиям магнитного поля $H < H_{cm}(T)$. Всем прочим матери-

алам, питающим слабость к сверхпроводимости, но не отличающимся особой чистотой своего происхождения, приходится отстаивать свои права в составе гораздо более многочисленной фракции сверхпроводников второго рода*. Входящие в эту фракцию сверхпроводники характеризуются отрицательными значениями σ_{ns} , и для описания их своеобразной склонности к возможно более мелкому расслоению на сверхпроводящие и нормальные области понадобилось ввести три параметра: $H_{c1}(T)$, $H_{c2}(T)$ и $H_{c3}(T)$.

При $H < H_{cm}(T)$ и $H < H_{c1}(T)$ сверхпроводники первого и второго рода с пренебрежимо малым размагничивающим фактором ведут себя почти как идеальные диамагнетики. Когда же внешнее поле H подберется к критической отметке $H_{c1}(T)$, поверхностные токи в сверхпроводнике второго рода окажутся не в состоянии сдерживать магнитный поток от намерения любым способом проникнуть в глубь образца. Однако, в отличие от чистых металлов, все ключевые роли в сцене проникновения будут исполнять не лишённые гибкости субтильные вихревые нити, каждая из которых несёт ровно один квант магнитного потока $\Phi_0 = \pi\hbar c/e = 2.07 \cdot 10^{-7} \text{ Гс} \cdot \text{см}^2$, где \hbar — постоянная Планка, c — скорость света в вакууме, а e — заряд электрона. По мере приближения к $H_{c2}(T)$ плотность вихревых нитей будет постепенно расти до тех пор, пока промежутки между нормальными сердцевинами нитей не станут меньше длины когерентности** $\xi(T)$. Хотя это и соответствует условию подавления сверхпроводимости внут-

ри образца, его тонкий поверхностный слой может оставаться в сверхпроводящем состоянии вплоть до $H_{c3}(T) = 1.69 H_{c2}(T)$.

Главное — зацепиться

Контраст в магнитных свойствах сверхпроводников первого и второго рода, обусловленный в первую очередь толерантным отношением последних к пронизывающим их вихревым нитям, служит причиной колоссальной разницы критических полей $H_{cm}(T) = \Phi_0/2^{3/2}\pi\xi$ и $H_{c2}(T) = \Phi_0/2\pi\xi^2$, при которых сверхпроводимость в толще образцов подавляется. Так, у одного из наиболее высокотемпературных ($T_c = 7.8 \text{ К}$) сверхпроводников первого рода — технеция — значение $H_{cm}(T \rightarrow 0 \text{ К}) = 1410 \text{ Э}$ в сотни раз ниже по сравнению с $H_{c2}(T \rightarrow 0 \text{ К}) \approx 4 \cdot 10^5 \text{ Э}$ бинарного соединения Nb_3Ge ($T_c \approx 23 \text{ К}$). Масштабы применения сверхпроводящих материалов (например, для генерации сильных магнитных полей) во многом зависят от возможностей обеспечения в смешанном состоянии ($H_{c1} < H < H_{c2}$) бездиссипативного транспортного тока $J_c(T, H) > 10^4 \text{ А/см}^2$. Решение проблемы заключается в том, чтобы как-то закрепить вихревые нити в материале сверхпроводника и тем самым предотвратить их перемещение. В противном случае под давлением силы Лоренца последние могут легко соскользнуть с занимаемых позиций и оказаться во власти плохо управляемой стихии вязкого течения с неизбежной при этом диссипацией энергии даже при весьма малой плотности $J_c(T, H)$.

Как установлено, вихревые нити способны «цепляться» за различного рода неоднородности и дефекты в материале сверхпроводника. К числу наиболее радикальных способов создания эффективных центров зацепления (центров пиннинга) относится «бомбардировка» тяжёлыми ионами. Появление в сверхпроводнике второго рода доста-

точно эффективных центров пиннинга приводит к тому, что зависимости магнитного момента $M(H, T)$, измеренные, например, при циклической развёртке магнитного поля H и фиксированной температуре $T < T_c$, становятся необратимыми, о чем свидетельствует петля гистерезиса. В качестве эквивалента остаточного магнитного момента $M_0(H, T)$ при $H = 0$ можно рассматривать «замороженное» поле H_i внутри полости образца, изготовленного в форме трубки.

Если напряженность внешнего продольного поля была достаточной для проникновения магнитного потока внутрь трубчатого образца, то после медленного (чтобы избежать скачков потока) понижения H до нуля в сверхпроводнике второго рода должно возникнуть так называемое критическое состояние. Оно характеризуется максимальной плотностью циркулирующего тока $J_c(T, H)$, а следовательно, и предельно допустимым градиентом магнитной индукции $\nabla B(\mathbf{r})$ в распределении вихревых нитей. Такое состояние нестабильно из-за того, что вероятность перескока отдельных сегментов нитей между соседними центрами пиннинга отлична от нуля. В результате серии таких перескоков часть вихревых нитей будет постепенно диффундировать внутри образца, вызывая уменьшение $\nabla B(\mathbf{r})$ и H_i . Наблюдаемый в опытах эффект медленного изменения $M_0(H, T) \sim H_i$ вследствие диффузии вихревых нитей известен как крип магнитного потока (от англ. creep — сползание). Наряду с термоактивационным механизмом заметный вклад в диффузию нитей при $T \rightarrow 0 \text{ К}$ могут вносить процессы подбарьерного туннелирования отдельных сегментов нитей через потенциальные барьеры, разделяющие соседние центры пиннинга. Впервые это было продемонстрировано автором на основе анализа экспериментальных данных, полученных

* Разделение сверхпроводников на две группы предложил А.А.Абрикосов в своей классической работе 1957 г. (ЖЭТФ. Т.32. С.1442).

** Длину когерентности $\xi(T)$ можно рассматривать в качестве параметра, характеризующего, в частности, пространственную шкалу подавления сверхпроводимости на границе с нормальным металлом.

при изучении влияния температуры на изменение скорости релаксации H_i в полых цилиндрических образцах $Pb_{1.2}Mo_{0.4}S_8$ с высокой плотностью центров пиннинга [2]. Вывод о том, что явление негермоактивационного (квантового) крипа потока при $T \rightarrow 0$ К должно наблюдаться и в других сверхпроводниках второго рода с $\xi < 5$ нм [2], вскоре подтвердился при изучении различных по составу соединений. Добавим, что работа [2] стимулировала появление многочисленных экспериментальных и теоретических публикаций (> 500), посвященных детальному изучению различных аспектов феномена квантового крипа.

Как правило, релаксация $M_0(H, T)$ и H_i со временем хорошо подчиняется логарифмическому закону [2]. Это значит, что если напряженность H_i сразу после выключения внешнего поля уменьшилась, скажем, на 0.5% за 10 с, то для последующей регистрации снижения H_i с 99.5 до 99.0% потребуются подождать уже 100 с, и т.д. Если допустить, что логарифмический закон будет выполняться далеко за пределами экспериментально протестированных семи временных декад (несколько суток), то чтобы заметить изменение $H_i \sim J(T, H)$ с 95 до 94.5%, могло бы понадобиться свыше 100 лет! Таким образом, когда $J(T, H)$ станет на 5–10% ниже $J_c(T, H)$, крип окажется практически ненаблюдаемым, а это значит, что и в сверхпроводниках второго рода существует принципиальная возможность реализации режима бездиссипативного транспорта. Чтобы «отодвинуться» от границы критического состояния на 5 или 10%, совсем не обязательно ждать несколько сотен или тысяч лет, поддерживая заданную температуру сверхпроводника. Гораздо практичней немного его подогреть, уменьшив тем самым $J(T, H)$, а затем вернуться к прежнему значению T .

Взятие температурного барьера

Уже на начальном этапе изучения сверхпроводников исследователи стали концентрировать усилия на выявлении факторов, так или иначе связанных с проблемой повышения критической температуры T_c . Долгие годы поиск путей повышения T_c сверхпроводящих материалов шел как бы на ощупь, без четких представлений о природе бездиссипативного транспорта. Потребовалось почти полвека, прежде чем в 1957 г. совместными усилиями Дж.Бардина, Л.Купера и Дж.Шриффера удалось построить микроскопическую теорию сверхпроводимости [3] (теорию БКШ), триумфальный успех которой в объяснении большинства свойств известных в то время сверхпроводников был отмечен Нобелевской премией. На основе анализа эффектов электрон-фононного взаимодействия авторы [3] показали, что значительная фракция электронов проводимости вблизи поверхности Ферми начинает при $T < T_c$ испытывать притяжение друг к другу с тенденцией к формированию конденсата так называемых куперовских пар (куперонов). Динамически упорядоченные купероны внутри конденсата настолько тесно связаны друг с другом, что для описания их поведения достаточно одной волновой функции с одной пространственной переменной. В этой ситуации между энергетическим уровнем основного состояния сверхпроводника и зоной надконденсатных возбуждений возникает энергетическая щель Δ . Ясно, что самосогласованное (когерентное) перемещение бозонподобных куперонов в пределах этого уровня должно осуществляться бездиссипативным образом, поскольку рассеяние носителей заряда на соседние уровни предполагает разрыв пар.

Оценки величины $T_c \sim |\Delta|_T \rightarrow \rightarrow 0$ К для фононного механизма сверхпроводимости приве-

ли, однако, экспериментаторов к удручающему выводу, что в случае традиционных металлов и сплавов вряд ли удастся преодолеть планку в 30 К. Действительно, за 29 лет после опубликования теории БКШ так и не были получены достаточно воспроизводимые данные о наблюдении признаков сверхпроводящего состояния выше 24 К. Казалось, не было никаких проблесков надежды, что в обозримом будущем удастся переломить сложившуюся ситуацию с господствующей тенденцией к монотонно-эволюционному повышению T_c .

Своего рода тараном, пробившим брешь в мифе о железобетонной несокрушимости барьера ~ 30 К на пути повышения T_c , послужила опубликованная в 1986 г. работа Г.Беднорца и К.Мюллера «Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System» [4], за которую уже в следующем году они были удостоены Нобелевской премии. Позднее лауреаты вспоминали, что у них всякий раз замирало сердце, когда при охлаждении образцов $Ba_xLa_{5-x}Cu_3O_{5(3-y)}$ зависимости $\rho(T)$, достигнув максимума при $T \leq 30$ К, начинали «заваливаться» вниз (рис.1, 2). По аналогии с ранее изученной сверхпроводящей системой $BaPb_{1-x}Bi_xO_3$ с $T_c \leq 12$ К Беднорц и Мюллер предположили, что падение $\rho(T)$ после прохождения максимумов следует рассматривать как указание на начало перколяционной сверхпроводимости. В данном контексте это означает формирование сверхпроводящих путей (каналов). Если их концентрация недостаточна для возникновения длинных кластеров, способных замкнуть промежутки между потенциальными контактами, сопротивление образца будет оставаться ненулевым до самых низких температур, как это видно на рис.1. Повышение $\rho(T)$ при $T < 100$ К (рис.2) авторы [4] приписали процессам локализации, которые в принципе могут усугубляться сегрегацией, т.е. возник-

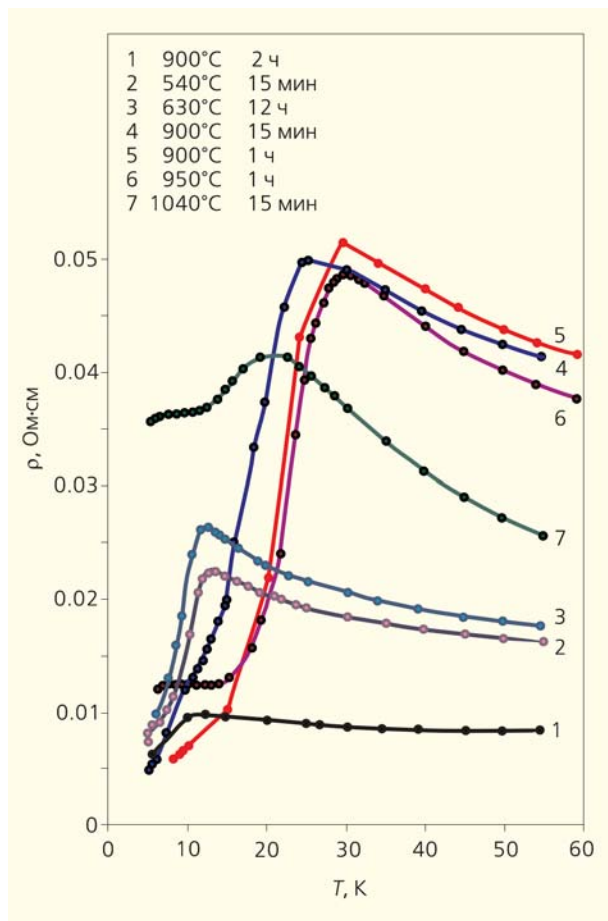


Рис.1. Результаты измерений температурных зависимостей сопротивления $\rho(T)$ образцов $\text{BaLa}_4\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ при $T < 60$ К, воспроизведенные из статьи [3].

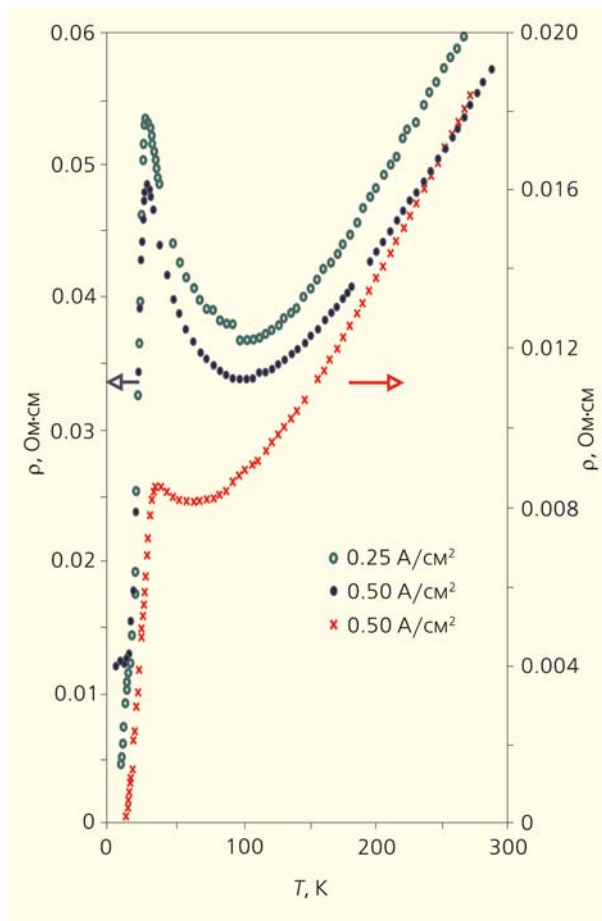


Рис.2. Температурные зависимости сопротивления $\rho(T)$ образца $\text{BaLa}_4\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ при $T < 300$ К для трех значений измерительного тока [3].

новением скоплений носителей заряда с последующим их переходом в состояние сверхпроводящих «капель». При понижении температуры следует ожидать увеличения размеров и концентрации таких «капель», из которых затем могут формироваться достаточно длинные сверхпроводящие каналы, пронизывающие образец (перколяционная сверхпроводимость).

Как известно, первая серия образцов $\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ с $x = 1$ [4], продемонстрировавших максимумы в поведении $\rho(T)$, имела тот же самый катионный состав, что и купрат $\text{BaLa}_4\text{Cu}_5\text{O}_{13.4}$, синтезированный ранее французскими исследователями [5]. По иронии судьбы, их измерения $\rho(T)$ были ограничены снизу темпе-

ратурой 173 К. Кроме уменьшения $\rho(T)$ при охлаждении образцов $\text{BaLa}_4\text{Cu}_5\text{O}_{13.4}$ внимание авторов [5] привлекло наличие в кристаллической решетке упорядоченных кислородных вакансий.

Интерес к купратам неизмеримо возрос после того, как обнаруженные Беднорцем и Мюллером особенности в поведении кривых $\rho(T)$ образцов $\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ были не только воспроизведены в других лабораториях, но и дали новые «улики» в пользу их связи с высокотемпературной сверхпроводимостью. Более того, анализ данных по влиянию состава на изменение диамагнитного вклада привел к заключению, что всю ответственность за сверхпроводящие свойства об-

разцов $\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ ниже 35 К следует возложить на фазу La_2CuO_4 , в которой часть ионов La^{3+} замещена на Ba^{2+} .

Хотя свойства родительской фазы Ln_2CuO_4 ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Eu}, \dots$) занимали исследователей задолго до открытия ВТСП, первые признаки сверхпроводящего происхождения в поведении магнитной восприимчивости $\chi(T)$ трехкомпонентного купрата La_2CuO_4 были замечены лишь в 1987 г. [6]. Вскоре удалось выяснить, что электронные свойства соединения La_2CuO_4 весьма чувствительны к условиям термообработки и наиболее четко атрибуты ВТСП (рис.3) проявляются после медленного охлаждения образцов от максимальной температуры отжига в пото-

ке кислорода [7]. В этом случае, как впоследствии было установлено, получают образцы нестехиометрического состава $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$, в которых внедренные в междоузлия кристаллической решетки экстраионы кислорода предпочитают выстраиваться в цепочки [8]. Следует ожидать, что вдоль этих цепочек будут упорядочиваться и порожденные ими дырочные возбуждения. Именно их упорядочение в шеренги, по всей видимости, определяет проводимость и сверхпроводимость $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$.

Кажется вполне логичным, что для объяснения свойств нестехиометрических образцов $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$, демонстрирующих впечатляющий максимум на кривых $\rho(T)$ (рис.3) при довольно слабом диамагнитном отклике ниже $T \sim 40$ К, была привлечена концепция сверхпроводящих нитей (filamentary superconductivity) [7]. Таким же образом были объяснены аномалии в поведении $\rho(T)$ и $M(T)$ образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{F}_2\text{O}_y$ при $T < 155$ К [9]. Опубликованные позднее примеры кривых с крутым падением $\rho(T)$ вплоть до «аппаратурного нуля» и ряд других указаний на перколяционную сверхпроводимость с началом перехода при $T_{co} \approx 155, 220, 340$ и 550 К были восприняты весь-

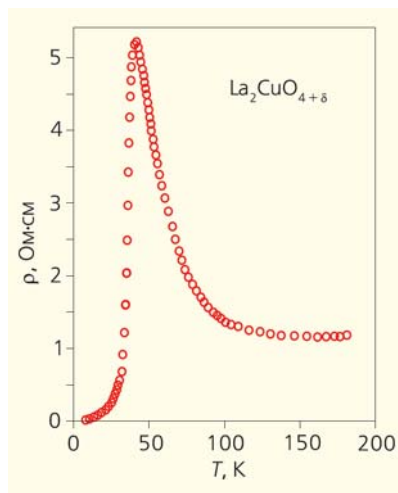


Рис.3. Температурная зависимость сопротивления $\rho(T)$ образца $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ при $T < 200$ К [6].

ма скептически из-за удручающе ничтожных шансов их воспроизвести.

Псевдощелевые аномалии и жаропрочные каналы

Гораздо более воспроизводимыми оказались псевдощелевые аномалии в электронных спектрах, которые выдают себя в поведении транспортных, магнитных и других свойств при высоких температурах. Наличие приставки псевдо- оправдано тем, что при $T > T_c$ на низкочастотных участках спектров наблюдается лишь частичное подавление плотности состояний (рис.4) [10].

Неослабевающий интерес к изучению специфики проявлений псевдощелевых аномалий, наблюдаемых в диапазоне температур от T_c до некоторой максимальной T^* , своей для каждого сверхпроводника, подогревается соображениями об их интригующей связи с ВТСП, наилучшие условия для самореализации которой с максимальными значениями T_c выполняются у купратов с дырочной проводимостью посередине так называемого протектората перколяционной сверхпроводимости. На рис.5, где представлены экспериментальные данные, характеризующие изменение T^* с уменьшением усредненной концентрации дырок \bar{n}_p в $2p$ -оболочках кислорода в пересчете на одну ячейку CuO_2 , выделены три области. В треугольнике справа вещество характеризуется не совсем обычными, но вполне металлическими свойствами, в левом треугольнике проявляются псевдощелевые аномалии, а в области протектората включается перколяционная сверхпроводимость. Видно, что граница протектората $T_c(\bar{n}_p)$ берет начало вблизи диэлектрического края диаграммы $T - \bar{n}_p$ и заканчивается отвоеванным справа плацдармом в плотно оккупированной дырками зоне, обозначаемой термином «странный металл».

Установлено, что удаление от середины ($\bar{n}_p = 0.16$) протектората сопровождается усилением пространственной неоднородности сверхпроводящего состояния. Куполообразная граница $T_c(\bar{n}_p)$ служит своего рода опорой для сектора псевдощелевых аномалий, территориальные притязания которого в случае образцов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ограничены наклонной прямой $T^*(\bar{n}_p) = T_{cp}^*(1 - \bar{n}_p/\bar{n}_{p,max})$, где $T_{cp}^* \approx 1200$ К и $\bar{n}_{p,max} \approx 0.28$. Накопленные в настоящее время данные дают основания полагать, что изображенная на рис.5 диаграмма $T - \bar{n}_p$ применима практически ко всем сверхпроводящим купратам.

Хотя число публикаций, посвященных сверхпроводящим купратам, превысило рубеж в 10^5 , до сих пор остается немало открытых вопросов, касающихся как генезиса псевдощелевых аномалий, так и их предполагаемой связи с ВТСП. При разработке сценариев, претендующих разоблачиться с проблемой происхождения аномалий, доминируют главным образом два подхода. Сторонники одного из них считают, что определяющую роль в их возникновении должны играть сверхпроводящие корреляции, приводящие к спариванию носителей заряда, тогда как их соперники из другого лагеря отдают предпочтение конкурирующим с ВТСП эффектам, ответственным за частичную «дieleктризацию» спектра.

В последние годы наиболее высокий рейтинг доверия завоевывают сценарии первой группы. Причем если раньше энтузиасты сверхпроводящих корреляций довольствовались рассмотрением термодинамических флуктуаций или предварительно сформированных пар, то в недавних публикациях все настойчивее выдвигаются аргументы о необходимости разработки методов, учитывающих наличие сверхпроводящих кластеров [11].

В своей основе идейная направленность предложенной

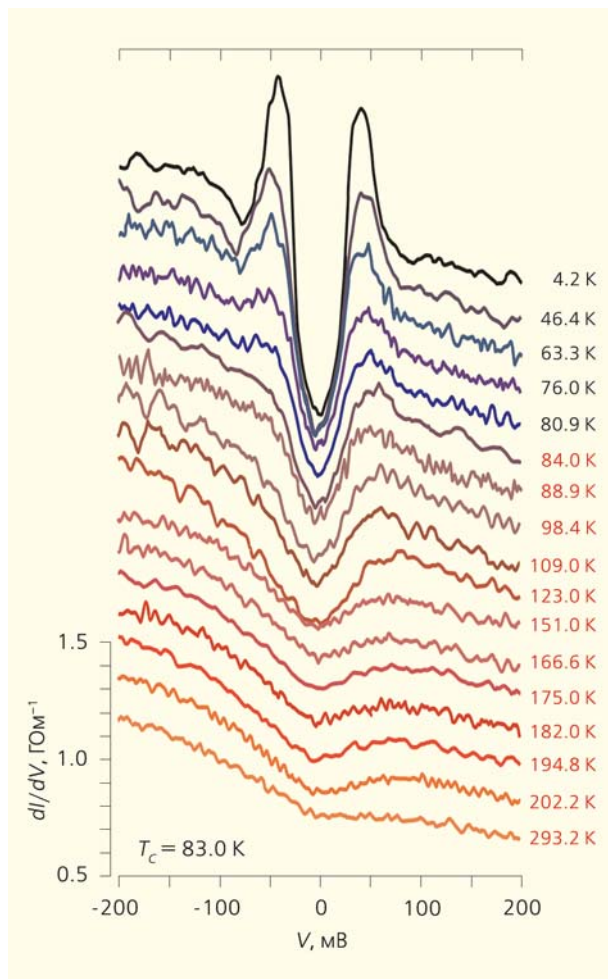


Рис.4. Влияние температуры на спектры туннельного тока образца $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ с концентрацией дырок ниже оптимального уровня [10]. Подобные спектры отражают зависимость плотности электронных состояний от энергии. Левая шкала соответствует спектру при $T = 293.2 \text{ K}$, остальные спектры сдвинуты вверх.

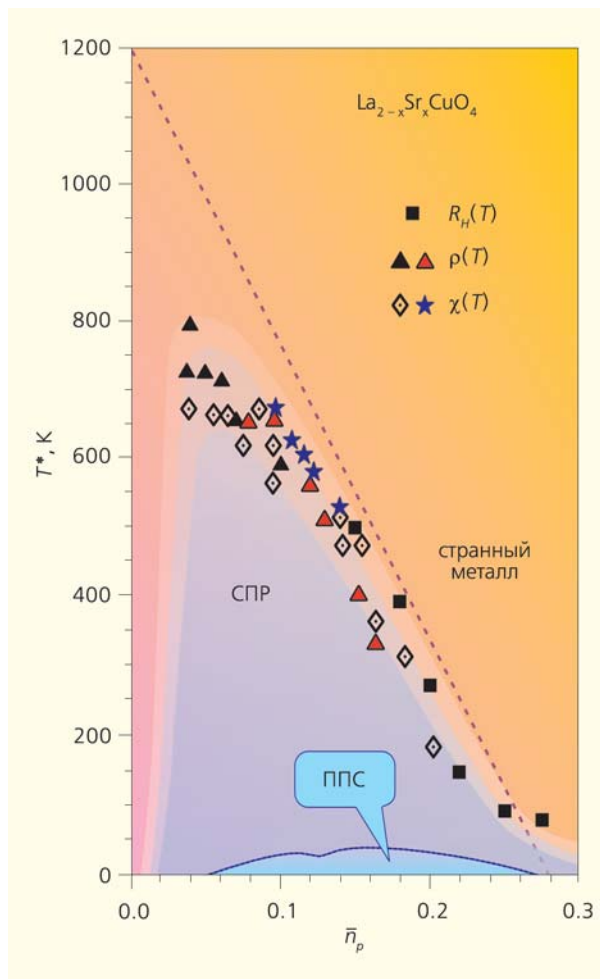


Рис.5. Изменение температуры проявления псевдощели T^* с увеличением концентрации дырок \bar{n}_p в $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ [13]. ППС — протекторат перколяционной сверхпроводимости, СПР — сектор псевдощелевого режима.

в [11] модели сводится к полученному на раннем витке исследований ВТСП выводу, что наблюдаемое на зависимостях $\rho(T)$ и $\chi(T)$ отклонение от линейного закона ниже $T^*(\bar{n}_p)$ обусловлено не столько термодинамическими флуктуациями, сколько гораздо более весомым вкладом от формирующихся в образцах сверхпроводящих кластеров (наноканалов) [12].

Поскольку «провисание» кривых $\rho(T)$ и $\chi(T)$ у образцов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ с $\bar{n}_p = 0.04$, обремененных с точки зрения сторонников сверхпроводящих корреляций избыточной проводимос-

тью и диамагнетизмом, начинается от отметки $T^* \sim 800 \text{ K}$ [13], в соответствии с полученным в [12] выводом следовало бы допустить не укладывающуюся в голове мысль о присутствии в них сверхпроводящих наноканалов с локальными значениями критической температуры $T_{ci}^* \sim \sim 800 \text{ K}$! Чтобы прояснить вопрос о принципиальной реализуемости столь высоких T_{ci}^* , были приняты исследования свойств купратов и ниобатов с $\bar{n}_p < 0.1$ [14]. При этом предполагалось, что остатки цепочек базисного кислорода в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ могли бы способствовать сохранению

в нем очагов сверхпроводимости даже при $\delta \leq 0.3$.

Как показал анализ полученных данных, эффективный радиус локализации дырочных возбуждений с уменьшением \bar{n}_p стремится к периоду решетки $a \approx \approx 0.38 \text{ nm}$ [14]. Эти возбуждения в виде нановихрей должны скапливаться в протяженных углублениях потенциального экстрарельефа $\tilde{U}'_x(\mathbf{r})$, создаваемого в слоях CuO_2 фрагментами кислородных цепочек из базисных плоскостей дополнительно к регулярному электростатическому полю основной кристаллической решетки. В сильном куло-

новском поле цепочек дырки могут испытывать неустойчивость по отношению к спариванию с образованием двумерных композитных бозонов, гораздо более локализованных, чем куперовские пары в традиционных сверхпроводниках. Из формулы для энергии их связи $\epsilon_c \sim \sim \hbar^2/2m_e d_b^2$ в протяженных потенциальных ямах шириной $d_b \sim 2a$ и глубиной не менее 0.5 эВ следует, что упорядоченные шеренги бозонов способны выдержать нагрев до температуры $T_{ci}^* \sim \sim \epsilon_c/k \sim 800$ К [14], где k — постоянная Больцмана, m_e — масса покоя электрона.

Рост δ в $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ должен сопровождаться сглаживанием $\tilde{U}'_{cx}(\mathbf{r})$ и уменьшением энергии связи сконденсированных в складках экстрарельефа (наноканалах) дырочных пар, которые вместе с одиночными дырочными возбуждениями способны почти полностью заполнить слои CuO_2 . В результате увеличения d_b от $2a$ до $6a$ при $\delta \rightarrow 1$ следует ожидать снижения T_{ci}^* от 800 К до 90 К. Таким образом, учет изменения размеров дырочных возбуждений с понижением δ привел к парадоксальному выводу: уменьшение \bar{n}_p должно способствовать увеличению локальной плотности дырочных пар, а значит, и локальных значений T_{ci}^* . По сути,

этот вывод указал путь к пониманию природы псевдощелевых аномалий.

Предсказания и испытания

Логическим развитием работы [14] стал поиск подходов к моделированию процессов сегрегации дырочных возбуждений на основе струнного формализма [15]. Чтобы описать результаты моделирования, придется прибегнуть к специфическому языку теории. Для анализа процессов на начальном этапе допирования ($\bar{n}_p < 1/16$) была введена концепция псевдоатомов с квантованными дырочными орбиталями (ромбонами), базис которых задается рангом η . Упорядочение ромбонов вдоль связей Cu-O с ростом \bar{n}_p сопряжено со спариванием дырок на коллективизированных орбиталях, представляющих собой зигзагообразные струны в полосе шириной $w_\eta = \eta a$ [16]. Чем меньше ширина таких квантовых ансамблей, в дальнейшем именуемых бозонными страйпами, тем выше температура их стабильности $T_{c\eta}^* = C_\eta^* D_\eta^* \hbar \bar{\omega}_o / [2k(2\eta^2 + \eta)]$, которая для $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ может достигать $T_{ci}^* \approx 1200$ К при $\eta = 2$, $C_\eta^* \rightarrow 1$ и $D_\eta^* = 1 - (1 - \delta/\delta_\eta^*)^2 \rightarrow 1$, где C_η^* — фактор соответствия

параметров «гофрировки» экстрарельефа $\tilde{U}'_{cx}(\mathbf{r})$ и поперечных размеров $w_\eta = \eta a$ доминирующих бозонных страйпов данного ранга η , а $\hbar \bar{\omega}_o \approx \approx \hbar^2/2m_e t_o^2 \approx 2.06$ эВ — частота нулевых колебаний струн, задаваемая в первом приближении периодом кислородной подрешетки $2t_o \approx 0.272$ нм [16]. Для $C_\eta^* \rightarrow 1$ и $D_\eta^* \rightarrow 1$ формула дает дискретный набор значений $T_{c\eta}^* \approx 1200, 570, 335, 220$ и 155 К (при $\delta_\eta^* \approx 0.22, 0.33, 0.44, 0.57$ и 0.65). Схема упорядочения кислорода в базисной плоскости $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ при $\delta_\eta^* = 1/8 + 6/8^2 \approx 0.22$ и наиболее вероятные траектории дырок в слоях CuO_2 для страйпов с $\eta = 2$ приведены на рис.6.

Следует ожидать, что при охлаждении образцов $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ с $\delta < 0.22$ от 1280 К дырки вначале должны скапливаться в углублениях $\tilde{U}'_{cx}(\mathbf{r})$, вызывая тем самым резкий рост $\rho(T)$ из-за «диэлектризации» промежутков между двумерными «каплями». Последующий этап формирования дырочных пар с прорастанием бозонных страйпов из «капель» должен привести к крутому снижению $\rho(T)$, а следовательно, и к появлению максимума (рис.7). Здесь же проиллюстрирована ожидаемая эволюция электронного спектра для $\delta \approx 0.11$.

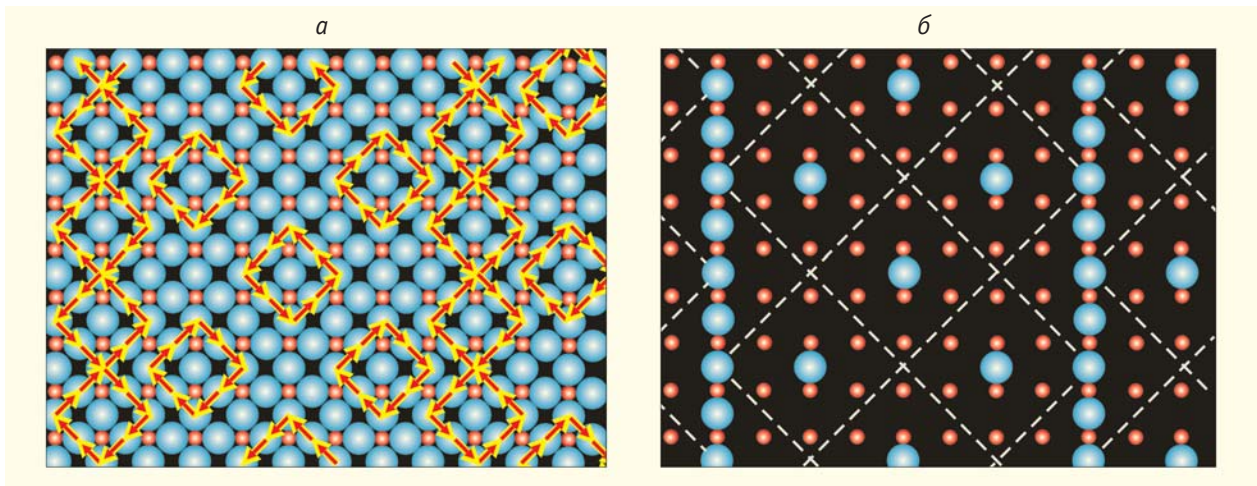


Рис.6. Наиболее вероятные траектории туннелирования дырок в слоях CuO_2 (а) под воздействием показанного на схеме (б) распределения ионов кислорода в базисной плоскости CuO_δ для купрата $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ с $\delta = \delta_\eta^* = 1/8 + 6/8^2 \approx 0.22$.

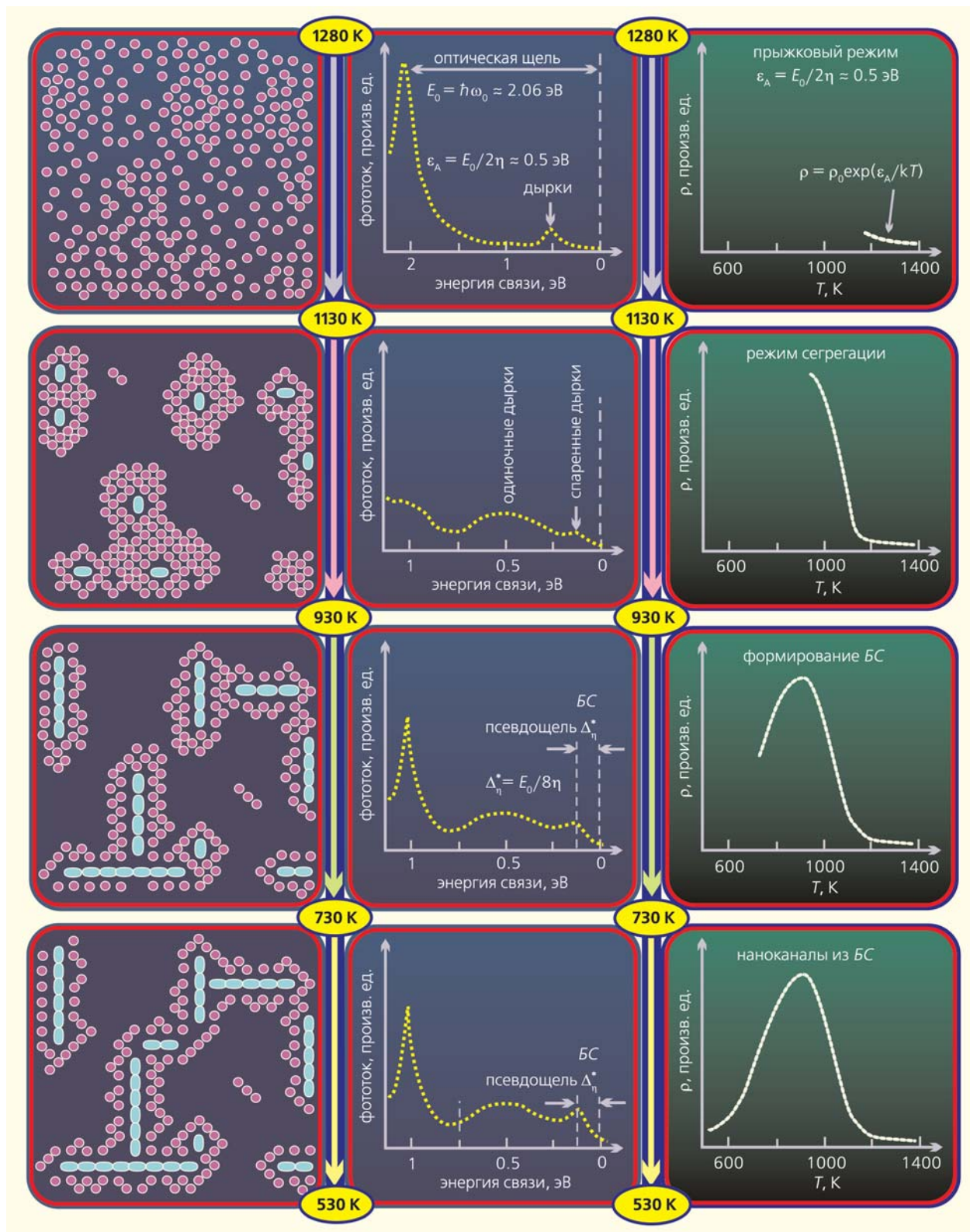


Рис.7. Предсказанное поведение сопротивления $\rho(T)$ при охлаждении образца $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ с $\delta \approx 0.11$ от 1280 до 530 К (правая колонка), обусловленное процессами сегрегации и упорядочения в сообществе дырочных возбуждений, принадлежащих слоям SiO_2 (левая колонка). Здесь голубым цветом выделены отдельные дырочные пары (композитные бозоны) и сформированные из них бозонные страйпы. Влияние этих процессов на эволюцию электронных спектров проиллюстрировано в средней колонке.

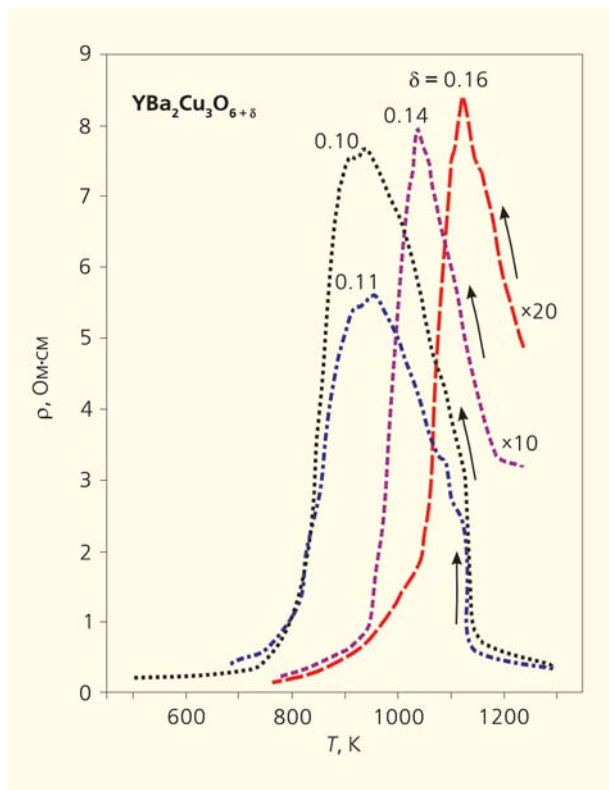


Рис.8. Температурные зависимости сопротивления $\rho(T)$, измеренные при охлаждении в аргоне образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ с фиксированными индексами δ . Кривые даны в разных масштабах: в реальности значения сопротивления для образцов с $\delta = 0.14$ и 0.16 соответственно в 10 и 20 раз меньше.

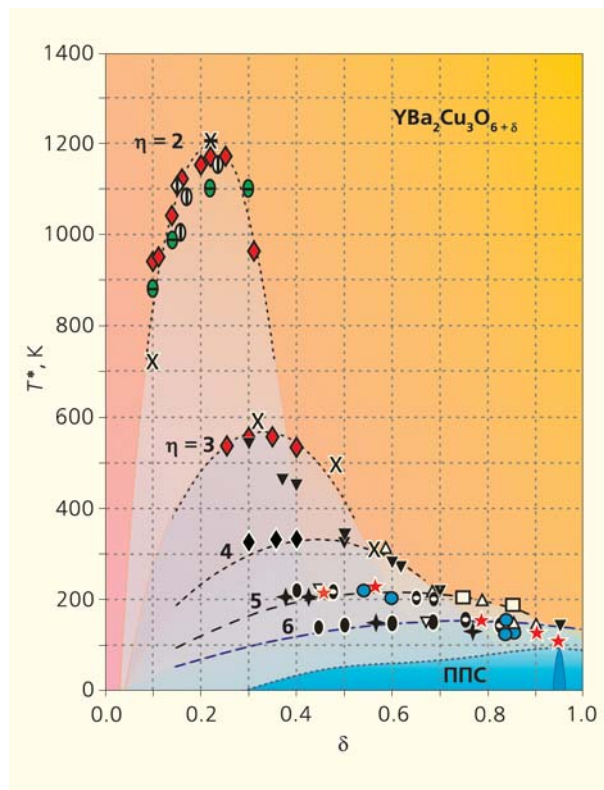


Рис.9. Сопоставление измеренных в разных экспериментах значений T^* с расчетными областями доминирования бозонных страйпов разного ранга (от 2 до 6). Синим цветом выделена область протектората перколяционной сверхпроводимости.

Полученные при измерении температурных зависимостей $\rho(T)$ и термоэдс $S(T)$ образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ данные [16] оказались в хорошем согласии с результатами расчетов, включая и поведение $\rho(T) \approx \rho_0 \exp(\epsilon_A/kT)$ с $\epsilon_A \approx 0.5$ эВ при $T > 1200$ К. Более того, значения температур $T_{c\eta}^*(\delta)$, при которых наблюдаются максимумы на кривых $\rho(T)$ при $\delta < \delta_\eta^*$ (рис.8), легли на параболическую кривую $T_{c\eta}^*(\delta) = T_{c\eta, \max}^* D_\eta^* = T_{c\eta, \max}^* [1 - (1 - \delta/\delta_\eta^*)^2]$ (рис.9), похожую на купол протектората ВТСП. Овалами со штрихами внутри них обозначены позиции максимумов на кривых термоэдс $S(T)$. С увеличением δ гигантские максимумы на кривых $\rho(T)$ исчезают, а в интервале $500 < T < 600$ К начинают проявляться изломы и локальные выпуклости, которые

отвечают формированию бозонных страйпов с $\eta = 3$. Из рис.9 видно, что результаты измерений $T_{c\eta}^*(\delta)$ вместе с опубликованными другими авторами значениями $T^*(\delta)$ группируются вблизи пяти штриховых линий, задаваемых единой формулой $T_{c\eta}^* = C_\eta^* D_\eta^* \hbar \bar{\omega}_0 / [2k(2\eta^2 + \eta)]$, причем координаты $T_{c\eta, \max}^*(\delta) \approx 1200, 570, 335, 220$ и 155 К, отвечающие вершинам парабол, получены без подгоночных параметров.

Наиболее однородная сверхпроводимость с $T_{c, \max} = C_0 \hbar \bar{\omega}_0 / [2k(2\eta^2 + \eta)] \approx 92.4$ К ($C_0 = 0.6$) реализуется при $\bar{n}_{po} = 4/(4\eta + 1) = 0.16$. Квантовое размытие импульса поперек бозонных страйпов должно приводить к подавлению сверхпроводящей щели $|\Delta_{\eta|b}| = \hbar \bar{\omega}_0 / 8\eta \approx 43$ мэВ на величину $2\epsilon_\eta \approx \hbar^2 / m_e(\eta a)^2 \approx 14$ мэВ.

Вычисленные значения $|\Delta_{\eta|a}| \approx 29$ мэВ и $|\Delta_{\eta|b}| \approx 43$ мэВ согласуются с измеренной анизотропией сверхпроводящей щели (29 и 44 мэВ) вдоль осей a и b [17].

Итак...

Благодаря взаимодополняющему сочетанию теоретических и экспериментальных методов удалось значительно расширить (как в прямом, так в и переносном смысле) существующие представления об электронных свойствах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ при $T < 1280$ К и показать, что в качестве связующего звена между псевдощелевыми аномалиями и ВТСП следует рассматривать бозонные страйпы. На это, в частности, указывает хорошее согласие позиций пред-

сказанных и измеренных максимумов на кривых $\rho(T)$ для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$.

Разработанный подход к моделированию процессов упорядочения дырочных возбуждений в слоях CuO_2 во всем диапазоне изменения свойств купратов от диэлектрика до сверхпроводника не требует привлечения громоздких численных методов. Такие характеристики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$, как, например, максимальная температура сверхпроводящего перехода $T_{c,\text{max}} \approx$

≈ 92.4 К и модуль сверхпроводящей щели $|\Delta_{\text{sn}}| = \hbar\bar{\omega}_0/8\eta \approx 43$ мэВ, включая ее анизотропию, рассчитанные без подгоночных параметров, оказались в хорошем согласии с экспериментальными результатами.

В свете полученных данных новые горизонты открываются и для практических применений оксидов. Сгустки ромбонов с выступающими из них бозонными страйпами могут функционировать в качестве логических элементов в интеграль-

ных наноструктурах многослойных процессоров нового поколения, предназначенных в том числе и для реализации квантовых алгоритмов. Благодаря практически бездиссипативному транспорту заряда по страйпам такие процессоры будут характеризоваться гораздо меньшим энергопотреблением по сравнению с существующими прототипами и значительно более широким диапазоном тактовых частот и рабочих температур. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-08-50074.

Литература

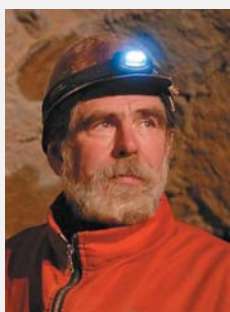
1. Wu M.K., Ashburn J.R., Torng C.J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.908—910.
2. Митин А.В. // ЖЭТФ. 1987. Т.93. С.590—604.
3. Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer J.R. // Phys. Rev. 1957. V.106. P.162—164; Ibid. 1957. V.108. P.1175—1204.
4. Bednorz G., Müller K.A. // Z. Phys. B-Cond. Matter. 1986. V.64. P.189—193.
5. Michel C., Er-Rakbo L., Raveau B. // Material Research Bull. 1985. V.20. P.667—671.
6. Greene R.L., Maletta H., Plaskett T.S. et al. // Solid State Comm. 1987. V.63. P.379—384.
7. Grant P.M., Parkin S.S.P., Lee V.Y. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.2482—2485.
8. Statt B.W., Hammel P.C., Fisk Z. et al. // Phys. Rev. B. 1995. V.52. P.15575—15581.
9. Ovsbinsky S.R., Young R.T., Allred D.D. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.2579—2581.
10. Renner Ch., Revaz B., Genoud J.-Y. et al. // Phys. Rev. Lett. 1998. V.80. P.149—152.
11. Abrikosov A.A. // Phys. Rev. B. 2005. V.72. P.212502.
12. Алексеевский Н.Е., Митин А.В., Хлыбов Е.П. и др. // ЖЭТФ. 1990. Т.97. С.263—282.
13. Timusk T., Statt B. // Rep. Prog. Phys. 1999. V.62. P.61—122.
14. Митин А.В., Кузьмичева Г.М., Мурашов В.В., Хлыбов Е.П. // ЖЭТФ. 1995. Т.107. С.1943—1966.
15. Митин А.В. // Известия РАН. Сер. физ. 2005. Т.69. С.576—579; Ibid. 2006. Т.70. С.598—601.
16. Митин А.В. // Физика низких температур. 2007. Т.33. С.328—344.
17. Lu D.H., Feng D.L., Armitage N. P. et al. // Phys. Rev. Lett. 2001. V.86. P.4370—4373.

Палеолитическая живопись Каповой пещеры: полвека после открытия

Ю.С.Ляхницкий

Знаменитая Капова пещера находится на Южном Урале, в Бурзянском р-не Башкирии, на р.Белой, в заповеднике Шульганташ. Эта слаборазветвленная трехэтажная спелеосистема протяженностью около 3 км с вертикальной амплитудой 165 м известна издревле и привлекла внимание ученых еще в XVIII в. [1–3]. И только полвека назад биолог А.В.Рюмин (1914–2006) открыл в ней палеолитическую живопись [4].

Александр Владимирович Рюмин был человеком незаурядным. Потомок дворянского рода Рюминых-Марлинских, ставший биологом, в сталинские годы он пытался бороться за правоту генетики. Прошел всю войну, начав с рядового и окончив подполковником, был представлен к званию Героя Советского Союза, но не получил его. В самом конце войны под Кёнигсбергом был тяжело ранен и врачи приговорили его к инвалидности. Тем не менее он сумел восстановиться и продолжил экспедиционную работу. Анализируя древнейшую историю человечества, Рюмин пришел к выводу, что палеолитическая культура должна была развиваться в нескольких регионах, а не только в Западной Европе. Одним из таких регионов он считал Южный Урал. Поступив на работу в Башкирский заповедник, где находится



Юрий Сергеевич Ляхницкий, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологического института им.А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ). Специалист в области металлогении, геоэкологии и спелеологии. Научный руководитель Комиссии спелеологии и карстостоведения Русского географического общества (РГО).

Капова пещера, в 1959 г., после длительного поиска, он впервые увидел на ее стенах под тысячелетней копотью и грязью неясные красноватые пятна, которые действительно оказались палеолитическими рисунками [4].

С 1960 г. в Каповой пещере работал крупный советский археолог О.Н.Бадер (1903–1979) [5], а после него — В.Е.Щелинский [6], которому удалось вскрыть в одном из залов культурный слой с очагами и орудиями, датированными верхним палеолитом. Видимо, постоянного поселения в пещере не было — прежде всего это было крупное святилище. Первичные результаты обследования Рюминым открытой им живописи не были полностью приняты археологами. До очистки рисунков от пленок вековых глинистых и кальцитовых отложений и надписей туристов многие из них были

трудноразличимы, с чем связаны некоторые ошибки не только Рюмина, но и Бадера. После кончины Бадера реставрационные работы в пещере не проводились, очищенные от природных пленок и кальцитовых кор рисунки стали быстро деградировать. В «перестроечные» времена археологические работы в пещере вообще прекратились, но при этом по решению башкирских властей в связи с бедственным состоянием заповедника Шульганташ началось экскурсионное использование пещеры с осмотром рисунков первого этажа, что, конечно, не способствовало сохранности живописи. Ныне нигде в мире пещеры с палеолитической живописью не показывают туристам. В Испании и Франции после открытия шедевров палеолитического пещерного искусства массовая демонстрация ри-

сунков едва не привела к их гибели, но сейчас наиболее ценные пещеры надежно охраняются. Их посещение разрешено только специалистам.

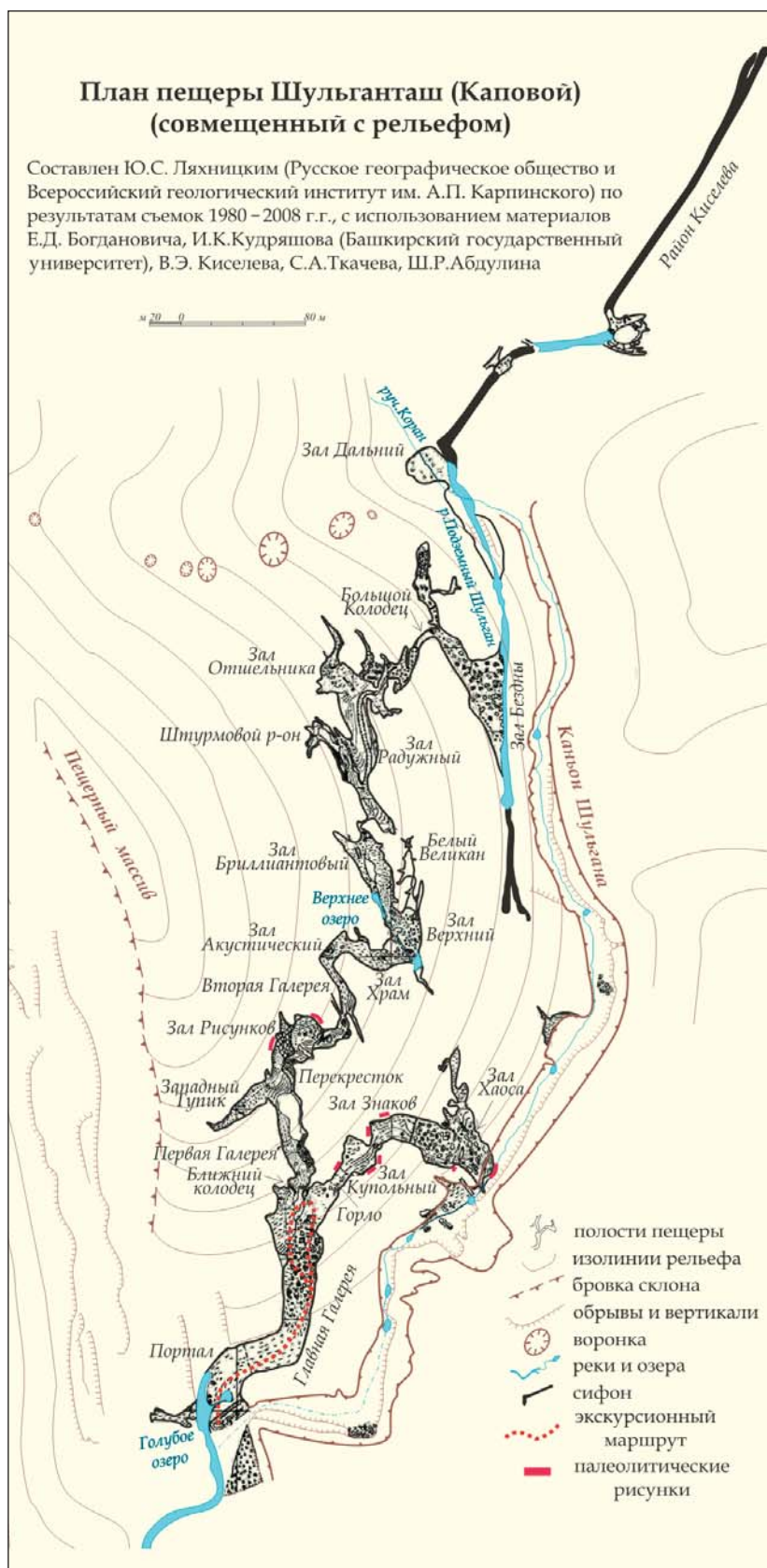
В 1999 г. по инициативе Министерства культуры Башкортостана для спасения живописи Каповой пещеры начались комплексное исследование и мониторинг динамических параметров спелеосистемы, а также топографическая и фотографическая фиксация изображений.

Проведение этих работ было доверено нашей группе ВСЕГЕИ (при поддержке башкирских специалистов), а также членам Комиссии спелеологии и карстоведения Русского географического общества (РГО), которые исследовали пещеру ранее. Огромное значение имела бескорыстная помощь членов РГО А.А.Юшко и О.А.Миникова, а также сотрудницы заповедника О.Я.Червяцовой [7, 8].

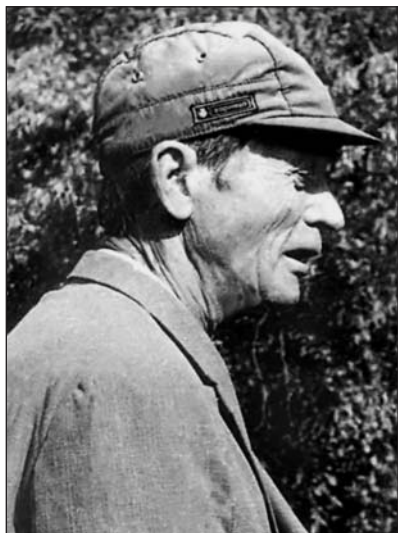
Была составлена программа исследования, обустройства и охраны пещеры, фиксации живописи. После экспертизы Института археологии РАН программа была рассмотрена и утверждена федеральным Отделом охраны недвижимых памятников истории и культуры, ее одобрили независимые французские эксперты, имеющие большой опыт работ с палеолитической пещерной живописью.

Вместе с сотрудниками заповедника нам удалось организовать временный экскурсионный маршрут в привходовом участке пещеры, практически не влияющий на микроклиматические параметры залов с рисунками. На стенах Главной галереи художник-анималист В.Ю.Черноглазов выполнил копии наиболее интересных композиций палеолитических рисунков.

Затем началось обустройство второй очереди — вертикальной части маршрута, концепция которой была разработана нами, а инженерное воплощение — уфимским архитектором Р.И.Кирайтмом. Эта часть маршрута позволяет осматривать гранди-



Авторский план Каповой пещеры с участками, где обнаружены палеолитические изображения.



А.В.Рюмин (1914—2006).

озную Главную галерею с высоты 20 м. К 2007 г. было построено двое защитных ворот, препятствующих несанкционированному проникновению к оригиналам рисунков. Чтобы улучшить условия сохранения рисунков, на верхних защитных воротах в летнее время устанавливается легкий полиэтиленовый экран, который существенно уменьшает приток воздуха, несущего тепло и влагу во внутренние части пещеры, что позволяет избежать в жаркую погоду интенсивного

увлажнения зала Рисунков. Продолжается мониторинг спелеосистемы, позволяющий контролировать ситуацию в условиях интенсивного роста туристического прессинга. Для борьбы с чрезмерным увлажнением пещеры в каньоне планируется перекрыть карстовые каналы, осуществляющие приток воды в залы первого этажа. Одно из основных направлений нашей работы — фиксация палеолитической живописи. При ее выполнении мы оказались в значительно более выгодных условиях, чем наши предшественники. Рюмин смог обнаружить рисунки и пытался рассмотреть их через слой тысячелетней грязи и многочисленные автографы туристов, посещавших пещеру в XIX—XX вв. Бадер выявил и расчистил около 50 рисунков. В его небольшой монографии, отражающей только начальный этап работы, содержатся в основном прорисовки, сделанные художником К.Н.Никохристом. В.Е.Щелинский провел большой объем работ, но неясные изображения он считал природными пятнами и не делал попыток их интерпретации. Технические возможности цветной фотофиксации в пещере в то время были существенно ограничены.

Наша группа располагала новыми высокочувствительными фотоматериалами с хорошей цветопередачей при искусственном освещении. Работавший с нами несколько сезонов специалист по цифровой обработке видеoinформации А.В.Солодейников впервые применил компьютерные методы, позволившие дешифровать изображения плохой сохранности и плохо различимые пятна. В работе использовались мощные цифровые фотокамеры, способные фиксировать объекты при низкой освещенности и сохранять их истинную цветопередачу при использовании эталонов цвета. Кроме того, мы фиксируем все изображения и пятна, даже если их подлинность пока вызывает сомнения — важно не пропустить бесценные древние рисунки, а выяснить их истинную природу позволит дальнейшее исследование. Осуществляется точная топографическая привязка рисунков. Проведенные работы позволили выявить к настоящему моменту 175 изображений [8].

В зале Рисунков

Ранее наиболее известными были реалистичные зооморфные контурные рисунки из зала Рисунков. Самая многочисленная композиция восточной стены включает рисунки пяти мамонтов, двух лошадей, носорога и геометрический абстрактный знак «Трапеция». После обработки изображения на компьютере выявлены: фигура человека перед правым верхним мамонтом, маленькая фигурка носорога в центре и практически неразличимый рисунок мамонта, получивший название «Бледный мамонт». Каково же было наше удивление в Археологическом музее Академии наук в Уфе, когда мы увидели муляж этой фигуры! Выяснилось, что Бадер знал о существовании этого рисунка, а затем он был потерян. Ознакомившись с отчетами Рюмина,



Портал — входной грот Каповой пещеры.

Здесь и далее фото Ю.С.Ляхницкого, А.А.Юшко, О.А.Минникова



Зал Хаоса.

мы узнали, что он считал выступ скалы, находящийся в нижней центральной части композиции, своеобразным барельефом, изображающим лошадь. Ее голову древний скульптор искусно «изваял» из обколотого и действительно напоминающего лошадиную морду сталагмита. Сейчас правоту Рюмина по поводу этого барельефа признали почти все эксперты, видевшие композицию.

Непосредственно перед правым верхним мамонтом на южном фланге композиции человек стоит в спокойной статичной позе, с протянутыми к животному руками. Это явно не охота, а общение человека с огромным зверем. Сейчас доказано, что в палеолите не было массовой охоты на мамонта. Без появившихся позже тяжелых длинных наконечников он был для первобытного охотника практически неуязвим [3].

Внутри фигуры носорога просматриваются слаборазли-

чимые линии, возможно, составляющие какой-то знак. Внизу перед большой «Рюминской лошадью» находится изображение «Мамонт-диссидент». Все животные в микрокосмосе зала-святылища идут по кругу справа налево, навстречу солнцу, а он ориентирован навстречу общему движению и имеет наклон около 40° к горизонту.

На западной стене зала Рисунков изображены три мамонта и степной тур. Стена в этом месте изобилует полукруглыми нишами — следами эрозионного воздействия напорных вод. Древний художник вписал фигуры в ниши, отчего они стали еще более выразительными, как бы объемными. А сама волнистая поверхность стены напоминает холмистую равнину, по которой бредет стадо мамонтов. Правый «Красный мамонт» — единственное в зале силуэтное изображение. Интенсивность закрашки фигуры неоднородна, выделяются более яркие полосы

ног и других элементов. Несмотря на вековую диффузию красителя, делающую рисунок похожим на красное пятно, он очень динамичен, создается впечатление, что мамонт бежит. В центре стены находится фигура мамонта и догоняющего его мамонтенка. Над задней частью «Мамонта-вожака» едва различимы розоватые пятнышки. При компьютерной обработке они сложились во вполне различимую фигуру человека, бегущего за мамонтом. Маленький рисунок очень динамичен — тело человека слегка согнуто и наклонено вперед, прямые руки и ноги широко разведены. На концах ног угадываются перпендикулярные им линии. Похоже, человек бежит за мамонтами на лыжах или снегоступах. Только при лыжном беге руки без палок остаются прямыми, а не согнутыми. Человек не охотится, он просто бежит к мамонту. Позднее мы узнали, что Бадер тоже разглядел этого чело-



1-я композиция восточной стены зала Рисунков. Ее фрагменты: «Мамонт, идущий в гору» и «Носорог» (компьютерная обработка).

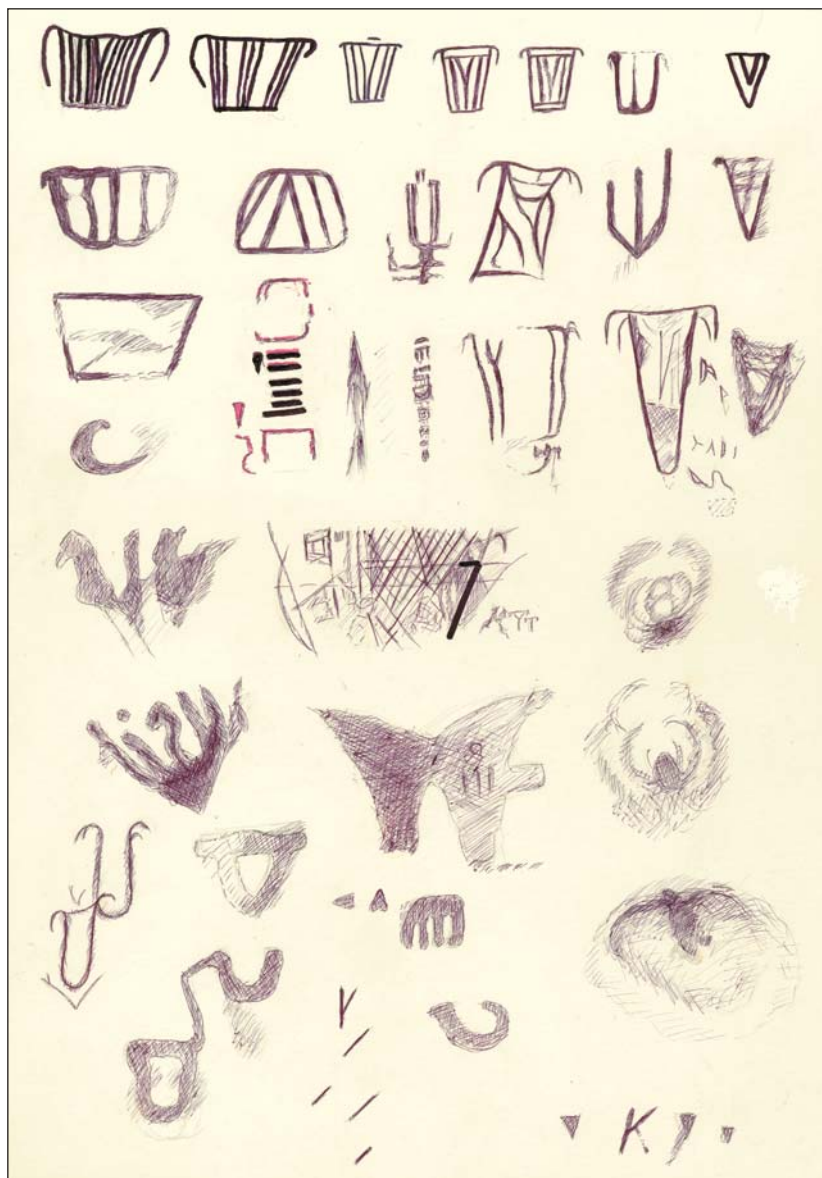
вечка, но опубликовать сведения о находке не успел. На некотором отдалении от мамонтов идет мощный степной тур. Фигура прорисована очень точно, удастся разглядеть все детали рисунка: опущенную вниз голову, выступающую холку, даже хвост и, кажется, глаз. Наверное, первоначально, когда рисунок был покрыт слоем древних гли-

нистых пленок и надписями туристов, распознать его было сложно. Рюмин видел в нем оленя, а Бадер первоначально принял за носорога, но позднее признал ошибку. Во многих экземплярах его книги подпись под рисунком была исправлена его собственной рукой.

При сравнении этих двух прекрасных композиций ка-

жется, что они очень близки по манере исполнения и стилю. Правда, первая, со множеством животных, создает впечатление своеобразной торжественной процессии, а вторая (ее иногда называют «Семья мамонтов»), больше похожа на обыденную зарисовку человека каменного века. Перед «Быком» на западной стене, ближе ко входу, в фе-

времья 2006 г. была открыта «Черная лошадка» с узкой продолговатой мордой и пышной гривой, нарисованная весьма схематично. Ранее никто из археологов ее не замечал. В отчетах Бадера ее нет, но Рюмин о ней знал. В его статьях имеются упоминания о черных рисунках, даже сохранилась фотография, которую мы получили позднее. Вокруг рисунка сохранилась глинистая пленка, смытая в других местах реставраторами, или ее специально замазывали грязью. Бадер не очень верил в подлинность черных угольных рисунков, но все же решил оставить рисунок в неприкосновенности, чтобы будущие исследователи смогли решить этот вопрос. Внимательно рассматривая лошадку, мы решили, что это может быть набросок перед нанесением слоя красной охры, своеобразный эскиз, не заверченный по какой-то причине или более древний рисунок. Для доказательства подлинности рисунка необходима его датировка, но это пока не в наших силах. Ниже и правее лошадки едва различимы темные линии. После обработки изображения на компьютере стало ясно, что это тоже лошадка, но еще более похожая на набросок. Кроме схематичной остроносой головы ниже был второй вариант головы, наклоненной вниз. Ноги обозначены прямыми линиями. По всей вероятности, Бадер не поверил в подлинность рисунка и решил смыть, но мы все же нашли его. Что это в действительности, пока неясно. В 2008 г. сотрудница нашей группы Червяцова обнаружила в нижней южной части восточной стены зала Рисунков архаичное черное изображение мамонта, очень похожее на подобные рисунки в пещерах Западной Европы. Подлинность его еще необходимо доказать, но это открытие позволяет предположить, что в пещере есть и другие, возможно, более древние черные рисунки.



Наиболее интересные абстрактные знаки Каповой пещеры.

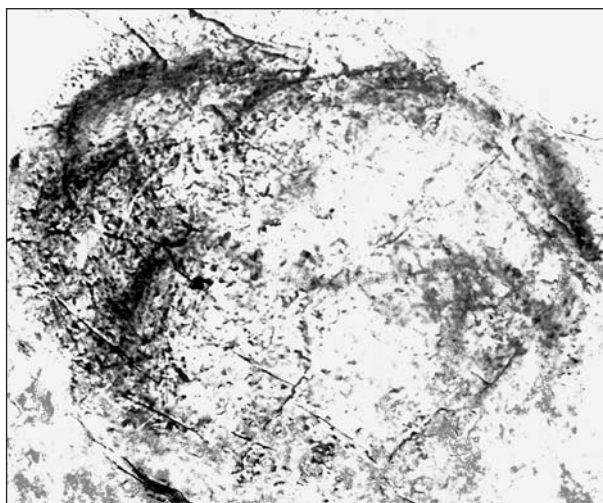
Первый этаж пещеры

На первом этаже пещеры рисунки начинаются уже в Купольном зале, сразу за микроклиматическим барьером. Большое количество неясных пятен находится в Нише — низком углублении в восточной стене, длиной около 8 м. Изображения имеют плохую сохранность из-за близости Ниши ко входу в Горло — микроклиматическому барьеру, где в сильный мороз температура падает ниже нуля, а стены корродируют из-за кон-

денсационной влаги. Чтобы восстановить первичный облик рисунков, пришлось произвести множество съемок и обработать изображения на компьютере, но и это не всегда позволяло получить однозначное решение. Из наиболее интересных изображений следует упомянуть рисунок «Олень». Он сильно пострадал от природных факторов и местных варваров — на нем была крупная угольная надпись «Беседин». Рисунок из нескольких красных линий не очень яркая, но хорошо заметен. Со-



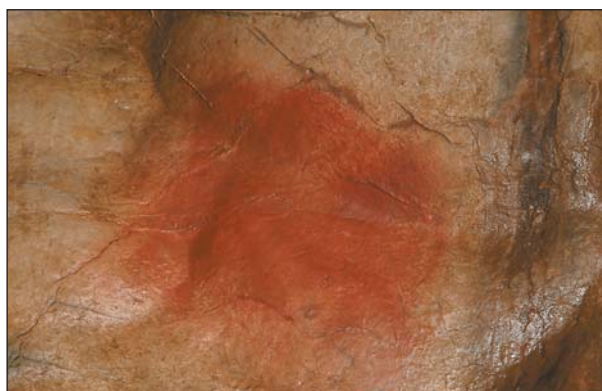
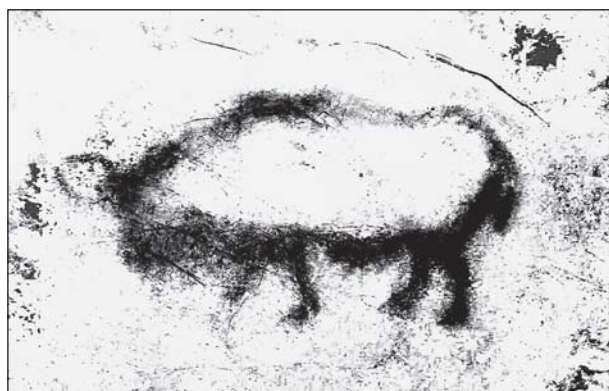
«Бледный мамонт», практически невидимый в пещере и его обработка (фрагмент 1-й композиции).



«Черная лошадка» и ее обработка.



«Олень», найденный в Нише Купольного зала, и его обработка.



Северная часть 2-й композиции на западной стене зала Рисунков. Внизу: «Тур» (компьютерная обработка) и «Семья красного мамонта».

хранились практически все его контуры, хотя некоторые линии очень бледны. Обработка изображения позволяет различить контур оленя с большими рогами, развернутого головой влево. Наиболее хорошо различимы задняя часть туловища и задняя нога. Бледные контуры шеи, морды, разветвленных рогов прорисованы очень реалистично, но различимы только при обработке, так как они в значи-

тельной мере скрыты угольной надписью. Видимо, это гигантский северный олень — первый олень, найденный в пещере!

В правой части Ниши находится рисунок «Дракон», достаточно яркий и сравнительно хорошо сохранившийся. Отчетливо видны голова, ориентированная направо, очень вытянутое тело, хвост и сравнительно короткие изогнутые лапы, три из которых идут вниз, а одна вы-

двинута вперед. Голова животного продолговатая, сверху выступ, напоминающий ухо. Аналогов этому рисунку в пещере (как, впрочем, и за рубежом) нет. Возможно, мы видим только какие-то реликты изображения, но рисунок сравнительно яркий и создает впечатление законченного.

Небольшой изящный стилизованный рисунок горного козла с закрученными назад рога-

ми — «Архар» — расположен в узком трубообразном тупиковом ответвлении, отходящем от внутренней Ниши к северу. Нарисован он на потолке трубы, приблизительно в 0,5 м от ее начала, т.е. намеренно спрятан от чужих глаз. Рисунок сравнительно хорошей сохранности, так как в трубе на него значительно меньше влияли разрушающие факторы. Несмотря на некоторый схематизм, изображение очень динамично — животное передано в прыжке и сразу узнается всеми экспертами. Без сомнения, это своеобразный шедевр древнего художника. Подлинность его бесспорна. Более всего он напоминает скальные гравированные изображения (петроглифы) более позднего возраста, по форме и стилистике очень близкие к рисункам на скалах Тувы (эпоха бронзы).

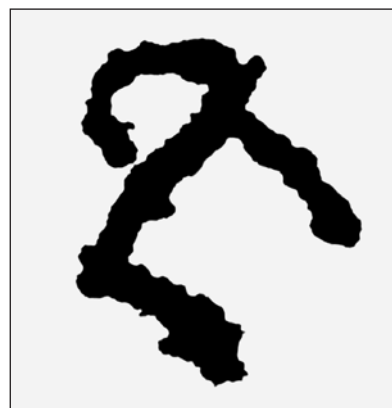
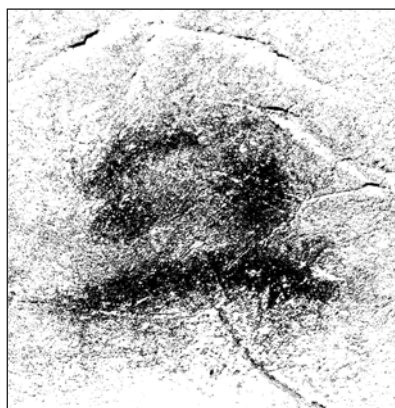
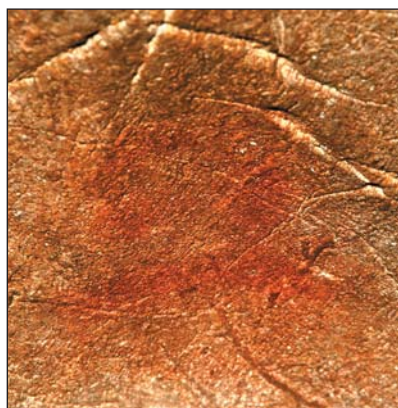
Знак «Внутренний треугольник» находится на краю выступа скального навеса Ниши, на внутренней поверхности его внешней стены, почти напротив «Дракона». Детали строения этого небольшого пятна глазом почти не видны. При компьютерной обработке он читается вполне уверенно.

На почти вертикальной западной стене Купольного зала, на высоте около 3 м, просматривается бледное красноватое пятно сложной формы, в верхней части которого выделяется расплывчатое изображение,

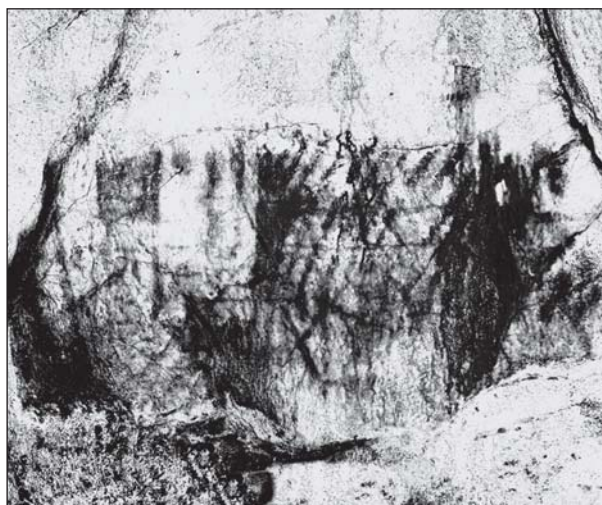
при обработке напоминающее небольшую лошадку (ее называли «Новой»). Еще одна небольшая лошадка с «лебединой» шеей обнаружена в начале щелевидной полости в северо-западном углу Купольного зала. При обработке на рисунке выявляется подобие ног, что еще более укрепляет уверенность в правильности расшифровки.

На восточной стене Купольного зала находится несколько давно известных изображений. Одно из них, «Длинная трапеция», — на выступе стены вблизи узкого прохода в зал Знаков. Это изящная, удлинённая в вертикальном направлении треугольная геометрическая фигура с двойными «ушками» на верхних углах. Правее знака просматривается еще один знак, напоминающий греческую букву γ . Правее и ниже расположена «Решетка» — сложное наложение знаков разного возраста, так называемый палимпсест. Он состоит из пересекающихся в нескольких направлениях штрихованных линий и слабо различимых деталей более ранних рисунков. Видимо, те, кто пришел в пещеру позднее, хотели лишить изображение его магической силы и, заштриховав его, совершили обряд уничтожения рисунка. Пользуясь тем, что окраска штриховки и ранних рисунков несколько различается, можно восстановить по деталям первоначальный облик изображения. Его основная «матрица»

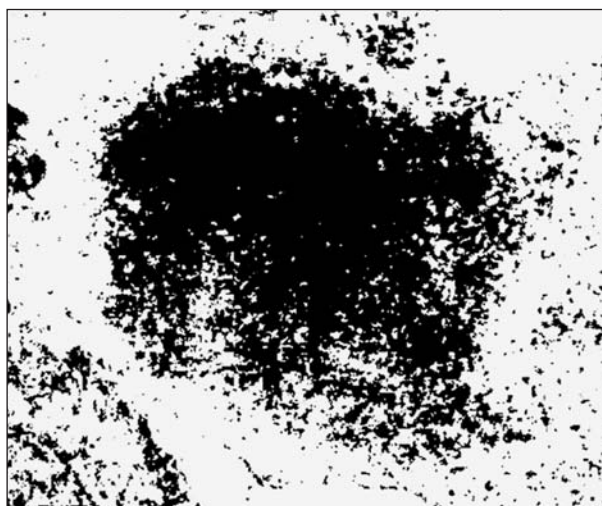
состоит из прямых линий четырех направлений (двух направленных навстречу друг другу под углом около 60–70° к горизонтали, вертикальной и горизонтальной). Сопряжение линий разного направления образует своеобразные узлы, которые могут трактоваться как самостоятельные знаки или рисунки. Наиболее древнее изображение, реликт которого хорошо сохранился в правой части «Решетки» и представлен темной широкой наклонной линией с фиолетовым оттенком, — возможно, правой стороной трапеции или треугольника. В верхнем левом углу наблюдается квадратное обособление, похожее на небольшую лежащую на боку трапецию. В правом верхнем углу — округлые искривленные линии, напоминающие рога животного, но подробное исследование показывает, что правый «рог», скорее, напоминает ушко трапеции, а левый — пересечение двух наклонных линий. В центре, чуть выше середины трапеции, наблюдается сгущение, напоминающее небольшое животное, обращенное головой вправо. Исследование показывает, что, скорее всего, этот «рисунок» — результат «интерференции» (наложения линий матрицы всех четырех направлений) — своеобразный оптический обман. В крайней правой нижней части «Решетки» выявляются три знака, два из которых очень напоминают печатные буквы «Т»,



«Архар», его обработка и гравировка со скал в Туве.



«Решетка» и ее обработка.



«Новый мамонт» с северной стены зала Знаков и его обработка.

а третий — деформированную «К». Сначала мы подумали, что это поздние «дорисовки», но по цвету красителя они не отличаются от основных линий знака. Кроме того, левая «Т» оказалась комбинацией заглавной печатной «Т» и маленького треугольника, образующего перекладину и верх ножки «буквы». Вряд ли современный варвар смог бы придумать такое. Таким образом, существование различных зооморфных рисунков под матрицей четырех систем линий пока не подтвердилось; отдельные мелкие фигуры, наблюдаемые в изображении, могут объ-

ясняться интерференцией линий. У выхода в Горло, на лежащей на полу глыбе, недавно впервые обнаружен нечеткий рисунок животного. Верхняя часть глыбы сколота, и линия его спины утеряна. Скорее всего, это носорог или мамонт с выдающимся вперед рогом или хоботом. На нижней грани глыбы, опирающейся на камни, также выявлен краситель и, видимо, есть рисунки. Почти наверняка глыба упала со стены, где были многочисленные изображения. Рядом на той же стене выявлено несколько мелких точечных значков.

Далее за высокой аркой находится просторный вытянутый в меридиональном направлении зал Знаков. На западной его стене вблизи входа видны яркие красные пятна охры. После компьютерной обработки перед нами предстал могучий первобытный зубр. Кроме хорошо различимой спины стали видны ноги, грива, переходящая в мохнатую «бороду», короткие рога. Вся фигура зверя дышит мощью, силой. Правее, выше и чуть ниже «Зубра», различимы небольшие традиционные для пещеры трапеции с «ушками». В верхней видны шесть ребер, располо-

женных попарно по бокам и в центре, а также горизонтальная линия под верхней перекладиной.

Прямо под Зубром — одно из самых ярких в пещере красных пятен. Детальный анализ показал, что это тоже трапеция, но крупнее других. По-видимому, кто-то еще в древности затушевал ее, превратив в подобие прямоугольника. С трудом удастся различить остатки ее внутреннего строения — ребра и ушки. Правее — к северу в нижней части стены — обнаружена своеобразная двойная трапеция.

Большое количество пятен красной охры находится на северной стене зала Знаков, ранее здесь было известно только пять знаков. Самый яркий и четкий на небольшом ровном выступе скалы в 40 см от пола — «Двойной треугольник», обращенный острой вершиной вниз. Выше, на треугольном выступе стены, находятся четыре маленьких значка, три из которых были известны ранее. Изображения очень бледные, и восстановить их первоначальный облик трудно. Скорее всего, они походили на латинскую букву «U» с маленькими ушками сверху. Расшифровка показала, что два из них, расположенные рядом, но на разных уровнях, соединены плавной линией, начинающейся от ушек. Таких связанных знаков в пещере ранее никогда не находили. Изображения на северной стене зала Знаков располагаются, образуя компактные группы, в которых знаки и рисунки имеют, как правило, похожие морфологические и стилистические черты. Большая часть из них имеет расплывчатые контуры и просматривается с трудом. После обработки одного из пятен оно оживает, превращаясь в изящную фигурку стоящего мамонта, названную «Новым мамонтом». Хорошо видны линия спины, голова, ноги животного, впереди просматриваются хобот и бивни, процарапанные в известняке. Это одно из самых интерес-

ных изображений мамонта в пещере, правда, оно несколько статично и схематично.

Изображение «Лучистая трапеция» представляет собой крупное яркое пятно, похожее на треугольник или трапецию, в котором выделяются яркие радиальные полосы и бледные, еле заметные, линии. Левая часть пятна, возможно, была самостоятельной трапецией с крупным ухом слева, напоминающим голову лошади. Правая часть выглядит как двойной треугольник или трапеция. Ушки у этой фигуры двойные. Они не только свешиваются вниз, как обычно, но и загибаются вверх. Оригинальное изображение неплохо сохранилось.

Далее к востоку находится рисунок, названный «Зоонур». При обработке он дает животное, напоминающее носорога. У конца шурфа встречаются совершенно новые для пещеры знаки кругового типа. Так, у одного из таких изображений, расположенного внизу, от яркого изометричного пятна идут бледные, слабо различимые, дуги разных диаметров, сложно сопряженные друг с другом. Можно предположить, что это игра природы, но рядом, чуть правее, находится похожее изображение «Чернов». Получается, что древние не только использовали традиционные трапеции и треугольники, но и начали создавать другие геометрические фигуры, в том числе — центральной симметрии. Ряд знаков северной стены заканчивает хорошо сохранившаяся фигура «Трезубец». Правда, при детальном исследовании хорошо видно, что это один из вариантов трапеции с одним внутренним ребром, — просто верхняя перекладина значительно менее яркая и ушки видны плохо.

В зале Хаоса

Восточнее зала Знаков расположен огромный зал Хаоса, пол которого покрыт навалом

крупных глыб известняка. На выступе его южной стены, на входе в зал, находятся «Лошадки». История этой композиции весьма поучительна. Реставраторы, работавшие в 60-х годах с Бадером, заметили яркую красную точку и уговорили его сделать пробную расчистку стенки. Сначала они скалывали грубую пористую натечную кору зубилами, а когда показалась охра, стали скоблить и срезать кальцит скальпелем. Сняв четырехсантиметровый пласт многослойных натечных образований, оставили над красочным слоем немного прозрачного натечного кальцита для сохранения рисунков. (Это, к сожалению, не всегда удавалось, к тому же в верхней правой части композиции были первоначальные природные повреждения, и теперь ей грозит осыпание.)

После расчистки, впервые спустя многие тысячи лет, древние рисунки предстали во всем блеске. Реставраторы увидели двух стилизованных лошадок, прекрасно прорисованную трапецию и еще какую-то фигуру, напоминающую изогнутую лесенку с одной боковой линией. Рисунки были яркие, сочные, разноцветные — внешние контуры лошадок темные, почти черные, переходящие в буровато-красные и алые линии. Некоторые части тел лошадок — ноги, морды, гривы, хвосты — были окрашены почти полностью в интенсивный красный цвет с буроватым оттенком, остальные участки имели более бледную окраску. Нижняя лошадка немного меньше, верхняя по своим контурам заметно отличается от других лошадок пещеры. Судя по более массивному телу и нарушенным пропорциям, она больше напоминает овцебыка. Роднит лошадок специфическая форма морды с узким длинным носом. Трапеция нарисована очень четко, геометрически правильно, девять ее ребер сгруппированы по три. Левее, перед лошадками, была расчищена еще одна небольшая



«Лошадки» зала Хаоса.

трапеция из шести ребер, а рядом — маленькая «ножка» какого-то существа. Увы, смерть Бадера в 1979 г. прервала реставрационные работы. Рисунки не только не расчищали, но и не пытались предохранять от разрушения. Вода, просачивающаяся через щели-«поноры» в каньоне, который проходит как раз над углом зала Хаоса с «Лошадками», делали свое разрушительное дело. Археологи были уверены, что все ограничится зарастанием рисунков и тем самым они сохранятся. К сожалению, процесс оказался куда сложнее и опаснее. Весенние и осенние паводки меняют карбонатное равновесие, межсезонное зарастание левой части композиции сменяется в паводки активной коррозией красочного слоя. А главное — вода разрушает связь кальцитовых корок скалой и активизируется про-

цесс осыпания натечных корок с красочным слоем. Если не преградить воде путь к «Лошадкам», замечательная композиция неминуемо погибнет еще до того, как будет расчищена и изучена полностью.

В 2008 г. «ножка» в северной левой части композиции была расчищена московскими реставраторами, в результате чего была вскрыта фигура, напоминающая человеческую. Вряд ли реставраторы действовали обоснованно. До уменьшения притоков воды из поноров проводить вскрытие красочного слоя в каньоне опасно. Большая часть знаков зала Хаоса расположена в так называемой Щели — наклонной низкой уплощенной полости в средней части восточной стены зала. В ее нижней левой части располагаются самые удивительные, напоминающие иероглифы, слож-

ные знаки пещеры — «Камертон» и «Сложная трапеция». Наверное, оба — модификации все той же трапеции, но роднят их с предшественницей только «ушки» на верхней перекладине и преобладание внутренних крутонаклонных линий. Наверняка они несут более сложную информацию, чем простые, «классические», трапеции, и кажутся значительно более поздними по сравнению с ними. На стене над Щелью, на высоте 3 м, находится плохо сохранившийся рисунок лошади. Под ней расположен «Антропоморф» — человек, ползущий на четвереньках по глыбам пещерного завала. У него треугольная голова и наметки хвоста. Может быть, это шаман в маске в образе животного? Похожие сторбленные человекообразные фигурки имеются и в пещерах Западной Европы.



Восточная часть зала Рисунков. На заднем плане видна 1-я композиция.

В самой верхней части Щели, под изображением человека-«Антропоморфа», расположена перевернутая трапеция — «Хижина Бадера». Она имеет четыре внутренних ребра и слегка изогнутые дугообразные боковые стороны. Краситель знака не алый, как у других рисунков, а бурый. У правой стенки Щели — единственный в своем роде знак «Башня» из двух четырехугольных фигур, расположенных сверху и снизу, и шести коротких горизонтальных жирных черных линий между ними, подчеркнутых красной охрой. Левее этой конструкции расположены черный (вверху) и красный (внизу) клиновидные треугольники и еще какие-то линии. Выше над «Башней» по ее оси расположены две вертикальные параллельные линии — «Красная парочка». Ничего подобного в практике палеолитического искусства не известно.

Да и искусство ли это — скорее достаточно сложная система передачи информации. Возможно, все эти знаки создавались уже в другую, более позднюю, эпоху и по другой системе. Напомню, в Щели нет ни одного рисунка животного. Возникла новая традиция — около сложных знаков появились спутники: черточки, клинышки и линии. Налицо переход от реалистичных рисунков к абстрактным символам, своеобразной скорописи.

В дальней северо-восточной части зала Хаоса, на высокой вертикальной стене, был открыт частично скрытый навесами «Дальний мамонт», дешифрованный только при многократном фотографировании и сложной обработке изображения. Расположен он на высоте приблизительно 4 м (в этом месте или произошла просадка пола, или древним художникам пришлось делать леса из стволов де-

ревьев). В десятке метров севернее Щели, на вертикальной стене зала, находится единственная в пещере бледная фигура, напоминающая полумесяц или серп, обращенный выпуклостью вниз.

Обобщения и гипотезы

Таким образом, рисунки Каповой пещеры неоднородны. Наиболее известны и хорошо сохранились реалистичные зооморфные контурные красные изображения зала Рисунков второго этажа. Имеются «полихромные» изображения с темной, почти черной, обводкой внешнего контура. Распространены сложные абстрактные знаки, нарисованные охрой, и красные силуэтные схематичные стилизованные зооморфные рисунки. Немногочисленные древние черные изображе-

ния нарисованы углем и частично перекрыты натечным кальцитом. Некоторые знаки, скорее всего, первоначально были полихромными, как и многие рисунки Западной Европы, но из-за очень плохих микроклиматических и гидрологических условий в Каповой пещере приобрели свой современный облик размытых однотонных красных изображений.

Что касается абстрактных знаков, то подавляющее их число расположено в залах первого этажа (более 92%) и только одна трапеция находится в зале Рисунков наверху. Очень важно, что трапеции Каповой пещеры не имеют аналогов в других местах ни по геометрии, ни по символике. Прямоугольные решетки западноевропейских пещер иные. Надо отметить, что при сходстве внешней формы трапеции Каповой пещеры отличаются по количеству внутренних ребер. Это наводит на мысль, что

они играли роль чисел. Поскольку трапеции всегда расположены около изображений животных, логично предположить, что мы имеем тотемные зооморфные изображения и численную характеристику групп людей, считающих их своими покровителями.

Изображения верхнего зала Рисунков и залов первого этажа существенно отличаются по набору зооморфных рисунков, стилистике, сохранности, наличию абстрактных знаков и т.д., что вполне может объясняться большой длительностью существования святилища. Даже при определении абсолютного возраста данные В.Е.Щелинского, Т.И.Щербаковой и изотопного центра ВСЕГЕИ дают разброс датировок рисунков от 14,6 до 17 тыс. лет. Возможно, что верхний зал Рисунков использовался в верхнем палеолите (аналог мадлена), а нижние залы — и в более поздние эпохи.

Проведенные в последние годы работы по выявлению, фиксации и расшифровке древних изображений Каповой пещеры совершенно по-новому характеризуют этот уникальный памятник. Мы вправе говорить о существовании самостоятельного очага палеолитической культуры на Южном Урале, существенно отличающегося от западных аналогов по наличию сложной системы символических и условных абстрактных знаков и преобладанию их над зооморфными изображениями.

Таким образом, спустя полвека после открытия Рюминым палеолитических рисунков Каповой пещеры мы можем констатировать, что этот объект еще не полностью изучен и понят. Без сомнения, он имеет мировое значение как второй, наряду с западноевропейским, центр древнейшей культуры человечества. ■

Литература

1. Лепехин И.И. Дневные записки путешествия доктора Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства в 1768 и 1769 годах. Т.1—3. СПб., 1771—1780.
2. Рычков П.И. Описание пещеры, находящейся в Оренбургской губернии при реке Белой, которая из всех пещер, в Башкирии находящихся, за славную и наибольшую почитается. Сочинение, к пользе и увеселению служащее. СПб., 1760. С.196—220.
3. Вахрушев Г.В. Загадки Каповой пещеры. Уфа, 1960.
4. Рюмин А.В. Пещерная живопись на Южном Урале. Материалы комиссии по научной геологии и географии карста: Информационный сборник. Вып.1. М., 1960.
5. Бадер О.Н. Капова пещера. М., 1965.
6. Scellinsbkij U.E., Sirokou U.N. Hohlenmalerei im Ural. Kapoua und Ignatievka. Die altsteinzeitlichen Dilderhohlen im Sudlichen Ural. Sipmacingen; Nhorbece, 1999.
7. Ляхницкий Ю.С. Многолетние исследования пещеры Шульганташ (Каповой) группой ВСЕГЕИ и РГО как основа спасения ее палеолитической живописи // Изучение заповедной природы Южного Урала: Сборник научных трудов заповедника Шульганташ. Вып.3. Уфа, 2006. С.331—382.
8. Ляхницкий Ю.С., Юшко А.А., Минников О.А. Сокровище палеолита. Рисунки и знаки пещеры Шульганташ. Уфа, 2008.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ НА ЮГЕ БАЙКАЛА

27 августа 2008 г. в 10 ч 35 мин местного времени (01 ч 35 мин по Гринвичу) на юге Байкала произошло сильное землетрясение с магнитудой 6.3. Очаг располагался на глубине 16 км, интенсивность сейсмических сотрясений в эпицентре достигала 8 баллов. Землетрясение ощущалось на большой территории Сибири – от Красноярска на западе до Читы на востоке и от Северобайкальска на севере до Улан-Батора на юге.

На следующий день после главного толчка из Иркутска на место события выехали специалисты учреждений СО РАН. Мы предлагаем вниманию читателей обзор данных, полученных по горячим следам, и первые выводы, сделанные после их осмысления.

Култукское землетрясение

С геологических позиций оз.Байкал – наиболее глубокая заполненная водой впадина, входящая в Байкальскую рифтовую зону. Формирование Байкальского рифта, начавшееся, по оценкам Н.А.Логачева [1], около 65–56 млн лет назад, продолжается и ныне. Это подтверждается как высокой сейсмичностью рифтовой зоны в целом, так и отдельными сильными землетрясениями, интенсивность которых достигает 7–10 баллов по 12-балльной шкале MSK-64. По данным 13-летнего ряда наблюдений с помощью метода GPS-геодезии, скорость относительного смещения Забайкальского и Сибирского блоков составляет 3.4 ± 0.7 мм/год [2].

Землетрясение, произошедшее на Южном Байкале 27 августа 2008 г., можно считать ярким проявлением современной

активности Байкальского рифта. Согласно устоявшейся традиции присваивать сильным землетрясениям собственные имена, рассматриваемое событие назвали Култукским – по наименованию наиболее пострадавшего населенного пункта (пос.Култук). Это событие стало сильнейшим в Южном Прибайкалье за почти 50 последних лет.

Основные параметры и тектоническая позиция очага

Непосредственно после основного толчка центром сбора сейсмической информации Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН в срочном режиме были получены сведения с 13 сейсмических станций Прибайкалья, ближайшая из которых – станция «Талая» – расположена в 30 км от эпицен-

тра. В результате оперативной обработки этой информации через 25 мин после момента события первые инструментальные данные о координатах эпицентра и силе землетрясения были переданы региональным службам ГО и ЧС.

Эпицентры основного толчка и последовавших за ним афтершоков (их параметры по региональным определениям представлены в табл.1) приурочены к юго-восточному окончанию Главного Саянского разлома, затрагивающего южную впадину Байкала и прослеживающегося далее в Забайкалье [3]. Сейсмический потенциал этой структуры по палеосейсмогеологическим данным [4, 5] определяется магнитудой $M_{\max} = 8.0$.

Основные параметры землетрясения, в том числе и механизм очага, были определены также и несколькими мировыми сейсмологическими агентствами (табл.2).

© Леви К.Г. и др., 2009

* В сборе данных и подготовке статьи принимали участие сотрудники из ¹Института земной коры и ²Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН: ¹К.Г.Леви, ¹Л.П.Бержинская, ¹Ю.А.Бержинский, ²Н.А.Гилева, ¹В.С.Имаев, ¹А.В.Лухнев, ²О.К.Масальский, ¹В.И.Мельникова, ¹А.П.Ордынская, ¹Н.А.Радзиминович, ¹Я.Б.Радзиминович, ¹В.В.Ружич, ¹В.А.Саньков, ¹О.П.Смекалин, ¹Е.Н.Черных, ²В.А.Чельницкий.

Таблица 1

Оперативный каталог землетрясений в районе Южного Байкала за период 27–30 августа 2008 г. по данным Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН

Дата, д. м. г.	Время, ч. м. с.	Северная широта, φ	Восточная долгота, λ	K_p^*	M_s^{**}
27.08.08	1:35:31	51.61	104.07	>15	6.1
27.08.08	1:41:32	51.61	104.06	13.0	5.3
27.08.08	2:07:56	51.65	103.93	12.0	4.5
27.08.08	3:29:14	51.65	104.00	10.5	4.3
27.08.08	5:00:45	51.65	103.91	9.6	—
27.08.08	20:34:50	51.66	103.87	9.5	—
28.08.08	7:27:26	51.69	103.94	10.4	—
29.08.08	4:32:23	51.48	104.17	9.7	—
30.08.08	13:53:29	51.64	104.03	12.1	4.6

* Энергетический класс (по Раутиан).

** Магнитуда (по поверхностной волне Релея).

Афтершоки распространялись от эпицентра главного толчка в северо-западном направлении, вдоль аналогично ориентированного берега Байкала (рис.1). Гипоцентр располагался в средней коре (табл.2), что не противоречит результатам определения глубин гипоцентров землетрясений в районе Южного Байкала. Известно, что нижняя граница их распределения находится на глубине 25 км [6, 7].

Определения механизма очага для главного толчка, полученные как по знакам первых вступлений на записях удаленных сейсмических станций (ИОЦ ГС РАН), так и путем расчета тензора момента центро-

ида (табл.2, рис.2), показали, что Култукское землетрясение произошло под действием близгоризонтального северо-западного растяжения и близвертикального или наклонного северо-восточного сжатия. По первым данным, по обоим наклонным плоскостям разрывов (субширотной и северо-восточной) произошли подвижки типа сброса. По вторым — решения в агентствах NEIC и HRVD близки: по наклонным плоскостям разрывов северо-восточного и субширотного простираний в очаге наблюдались подвижки типа сбросо-сдвига.

На современном этапе развития Южно-Байкальская впадина характеризуется режимом

растяжения со сдвигом, и высоким сейсмическим потенциалом здесь могут обладать не только главные граничные разломы, но и гораздо менее протяженные разрывы во внутренней части рифтовой впадины [8]. При северо-западной ориентации горизонтальной оси растяжения в очаге Култукского землетрясения разломы северо-восточной ориентации должны проявляться как сбросы, что соответствует решению агентства ИОЦ ГС РАН. В то же время при том же положении оси растяжения сдвиговая компонента смещений в очаге (NEIC, HRVD) может быть обусловлена субширотным простиранием активизировавшихся

Таблица 2

Параметры Култукского землетрясения по данным мировых сейсмологических агентств

Время, ч. м. с.	Координаты		H, км	Магнитуда	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости		
	φ, с.ш.	λ, в.д.			T		N		P		NP1/NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP
*01 35 29.4	51.64	104.15	10	6.1 M_s	0	341	11	251	79	72	82/241	46/46	-75/-105
**01 35 32.1	51.62	104.14	16	6.2 M_w	1	324	49	232	40	55	92/197	62/64	-30/-148
***01 35 38.5	51.79	104.08	24	6.2 M_w	5	161	43	256	47	66	104/215	63/55	-40/-146

Данные:

* — Информационно-обрабатывающего центра Геофизической службы РАН (ИОЦ ГС РАН),

** — Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США,

*** — Сейсмологического центра Гарвардского университета (США).

Оси главных напряжений: T — растяжения, N — промежуточного, P — сжатия; углы, град.: PL — погружения осей напряжения относительно горизонта, DP — падения плоскости, SLIP — смещения; азимуты, град.: AZM — осей напряжения, STK — простирания плоскости.

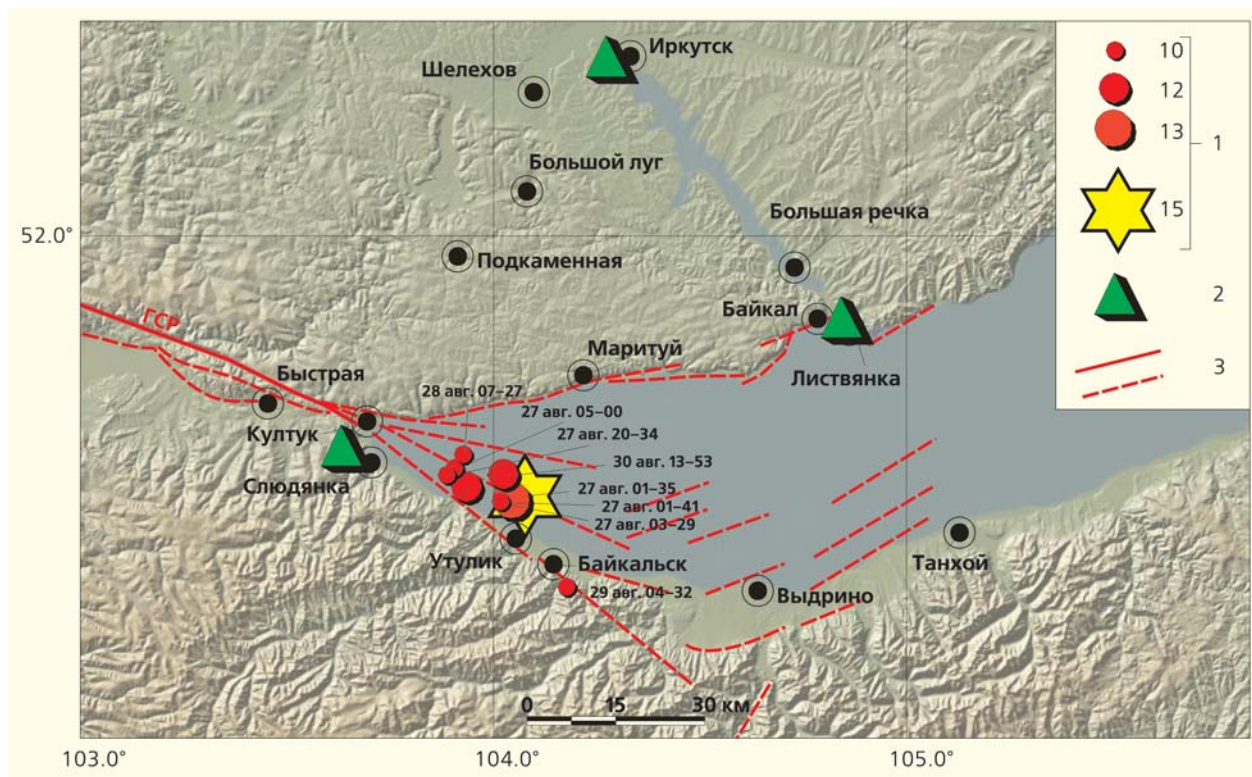


Рис.1. Карта эпицентров землетрясений Южного Байкала за период 27—30 августа 2008 г. Для эпицентров указаны даты и время по Гринвичу. 1 — энергетический класс; 2 — стационарные сейсмические станции Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН; 3 — разломы.

разломов, что вполне вписывается в неотектоническую схему Южно-Байкальской впадины [3]. Таким образом, все имеющиеся решения фокального механизма Култукского землетрясения не противоречат сеймотектонической ситуации района Южного Байкала.

Култукское землетрясение позволило получить новые для

Прибайкалья данные о сильных движениях грунта. Надо сказать, что запись динамических параметров движений грунта в Прибайкалье стала возможной только после оснащения региональных сейсмических станций цифровой регистрирующей аппаратурой. Этот процесс был завершен в 2003 г., и сейчас осуществляются накопление и анализ ци-

фровых записей сильных движений. Главная цель таких исследований — уточнение корреляции между уровнем макросейсмического эффекта и параметрами движений грунта. В качестве примера приведем данные, полученные сейсмической станцией «Иркутск» (рис.3). Максимальная амплитуда ускорения колебаний грунта при основном толчке в 01 ч 35 мин по Гринвичу составила 48 см/с², амплитуда скорости — 2.6 см/с, смещения — 2.2 мм. По инструментальной части шкалы MSK-64 эти значения соответствуют интенсивности сотрясений, равной 6 баллам. Для афтершока в 01 ч 41 мин эти же параметры составили соответственно 11 см/с², 0.53 см/с и 0.29 мм, что соответствует интенсивности 4—5 баллов. Инструментальные определения в целом хорошо соотносятся с макросейсмическими оценками, сделанными по наблюдавшимся в Иркутске эффектам.

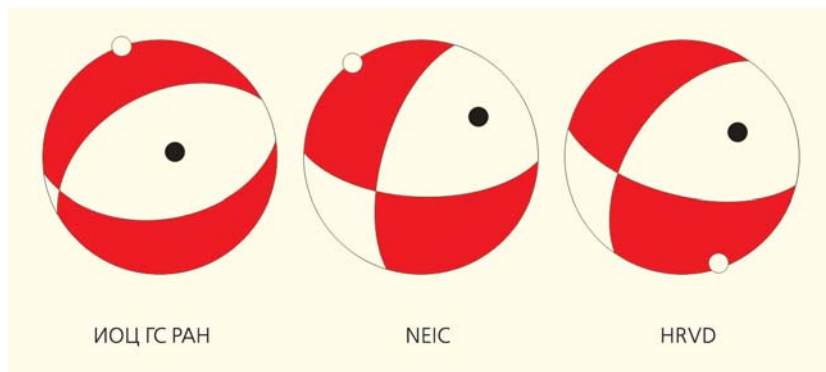


Рис.2. Механизм очага Култукского землетрясения (проекция нижней полусферы) по данным мировых сейсмологических агентств.

Макросейсмические проявления

Сотрясения охватили обширную территорию. К западу и северо-западу от эпицентра заметные колебания распространились соответственно до Кызыла и Красноярска; крайним восточным пунктом, где землетрясение еще ощущалось, следует считать Читу. На юге землетрясение заметили на территории Монголии. Более или менее серьезные повреждения печных труб и печей отмечались на расстояниях до 100 км от эпицентра.

В некоторых крупных городах Прибайкалья (Иркутске, Ангарске, Улан-Удэ и др.) землетрясение вызвало немалый переполох, хотя каких-либо разрушений или серьезных повреждений зданий и сооружений не произошло.

На следующий день после землетрясения в эпицентральной области были организованы макросейсмическое обследование и рассылка опросных листов в населенные пункты Восточной Сибири, что позволило наметить зону ощутимости и составить представление об эффектах, наблюдавшихся на различных эпицентральных расстояниях.

Оценка макросейсмических признаков по результатам обследования производилась по сейсмической шкале MSK-64, оказавшей весьма «скудной» в описании наблюдаемых объектов. При обследовании пришлось делать существенные поправки на высокую степень физического износа застройки.

Наиболее пострадали поселки Култук и Утулик и г.Слюдянка, расположенные на берегу Байкала в районе его юго-западного замыкания. В них отмечалось массовое обрушение кирпичных труб (рис.4) и разрушение печей в одноэтажных деревянных домах. Seriously пострадали здания социального назначения: школы, детские сады, больницы. Повреждения достигали 2–3 степени (умеренные и тя-

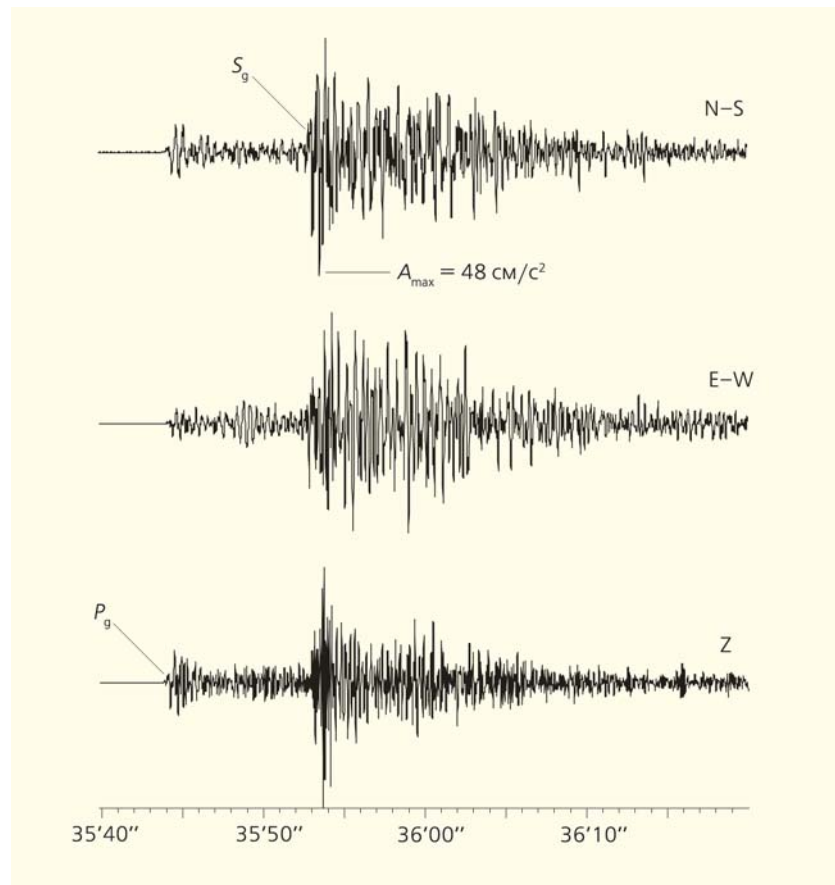


Рис.3. Трехкомпонентная запись сильных движений при землетрясении 27 августа 2008 г. в 01 ч 35 мин с $M_w = 6.2$, сделанная короткопериодной сейсмической станцией «Иркутск», расположенной в 75 км от эпицентра. Показаны вступления прямых продольных (P_g) и поперечных (S_g) волн и величина максимальной амплитуды ускорения смещения почвы $A_{\max} = 48 \text{ см/с}^2$.



Рис.4. Разрушение печных труб в Култуке. Подобные эффекты носили массовый характер.



Рис.5. Сейсмогравитационные эффекты после землетрясения: осыпь, образовавшаяся в 6—7 км от пос.Култук по Тункинскому тракту (слева), и обвал, перегородивший старую грунтовую дорогу на окраине г.Слюдянка.



Рис.6. Трещины в стенах здания школы в пос.Култук.

желые). В населенных пунктах, расположенных на побережье Байкала, как массовое явление наблюдалось растрескивание и падение больших кусков штукатурки со стен и потолков зданий. Наиболее часто отмечались сильное раскачивание (а в некоторых случаях падение) люстр, движение и опрокидывание тяжелой мебели и бытовой техники (шкафов, холодильников, телевизоров), подземный гул, а в зоне побережья — звук, похожий на взрыв бытового газа. В горах и на крутых склонах образовались многочисленные осыпи, обвалы, оползни и камнепады (рис.5). Очевидцы, находившиеся в близлежащих лесных массивах, ощущали сильные сотрясения почвы, сопровождавшиеся раскачиванием деревьев и колебанием высокой травы.

В Култук в момент первого толчка упали почти все кирпичные трубы на жилых домах, большинство (около 80%) печей разрушены частично или полностью и дальнейшей эксплуатации не подлежат. Отмечено появление трещин в бетонных фундаментах деревянных домов. Сильно пострадало при землетрясении трехэтажное кирпичное здание поселковой средней школы. Повреждения превысили 3-ю степень («тяжелые») по шка-

ле MSK-64 — образовались сквозные зияющие трещины в наружных и внутренних стенах (рис.6), нарушилась связь между частями здания. Дальнейшая эксплуатация школы невозможна. В деревянном здании детского сада разрушены практически все кирпичные печи с обрушением внутрь, с наружных и внутренних стен обвалились пласты штукатурки, на внутренних стенах видны зияющие трещины. По словам жителей, во время землетрясения было трудно передвигаться и даже стоять на ногах; волнообразные

колебания почвы были заметны на глаз. В колодцах и колонках отмечалось сильное помутнение воды, ставшей непригодной для питья, в огородах значительно увлажнилась почва.

Аналогичные эффекты наблюдались в Слюдянке. В отличие от поселков, центральная часть города застроена небольшим количеством трех- и четырехэтажных кирпичных и панельных зданий. В панельных домах на фасадах раскрылись вертикальные растворные швы и горизонтальные стыки поперечных стеновых панелей в ле-

стничных клетках. Здания получили умеренные повреждения 2-й степени (рис.7).

В г.Байкальске последствия землетрясения оказались заметно слабее. Однако оно ощущалось практически всем населением, отмечались разрушения печных труб в частных деревянных домах. Как массовое явление наблюдалось падение предметов со столов и полок. Из открытых емкостей выплескивалась жидкость. В некоторых крупнопанельных зданиях осыпалась штукатурка. По свидетельству очевидцев, при земле-



Рис.7. Панельные дома в г. Слюдянка. Внизу — осыпание растворной заделки межпанельных швов — 1-я степень повреждения по шкале MSK-64 (слева) и повреждение горизонтального шва между стеновыми панелями лестничной клетки — 2-я степень повреждения.

трясении земля вблизи Байкала колебалась подобно волнам на озере, почва стала мягкой и напоминала студень. Стоявшую на берегу автомашину подбрасывало вверх. Жители наблюдали сильное раскачивание труб Байкальского целлюлозно-бумажного комбината.

В Иркутске землетрясение ощущалось практически всеми. Многие в испуге покинули дома и долгое время оставались на улице. В одно- и двухэтажных домах опрокинулись или частично разрушились печные трубы. В квартирах падали посуда, книги. В штукатурке появились трещины, осыпалась побелка, дребезжали стекла, сильно раскачивались люстры. На верхних этажах макросейсмические проявления были заметнее. В торговых павильонах на рын-

ках и магазинах города попадал с полок товар.

В результате землетрясения в ближней к эпицентру зоне образовались деформации дорожного полотна (рис.8). Серия широко зияющих трещин длиной около 50 м в полотне автодороги на восточной окраине Слюдянки связана с оползанием высокой дорожной насыпи. Наиболее протяженная система трещин длиной до 350 м отмечена в насыпи автодороги Култук—Монды в долине р.Култучной. Трещины субширотного простирания с максимальным зиянием до 5 см и вертикальным (вследствие оползания) смещением до 25 см сначала прослеживались по одной стороне дороги, затем пересекали ее и выходили уже на другой стороне. Здесь они парал-

лельны разрыву Восточносаянской палеосейсмодислокации. Вновь образованные трещины с простиранием 340° , зиянием до 0.5 см, имеющие признаки левостороннего смещения, зафиксированы в полотне старой автодороги.

В литых бетонных конструкциях моста через р.Култучная наблюдались нарушения и раскрытие стыков между его частями.

Землетрясение вызвало ухудшение самочувствия у населения, отмечавшееся на расстояниях от нескольких десятков до нескольких сотен километров. Люди жаловались на головную боль, учащенное сердцебиение, повышенное давление, чувство тревоги. Однако во многих случаях самочувствие улучшалось через короткое время после толчка.



Рис.8. Сейсмогравитационная трещина в насыпи автодороги Култук—Монды.

Что дальше?

Наблюдения с использованием метода GPS-геодезии на базовой линии Култук—Слюдянка за период с 1994 по 2002 г. установили, что скорость относительного смещения по зоне Главного Саянского разлома весьма мала. Скорость укорочения базовой линии составляла 0.2 ± 0.2 мм/год при восточном тренде (0.4 ± 0.2 мм/год) и отсутствии меридионального смещения (0.1 ± 0.2 мм/год). Вариации вертикальной составляющей находились в пределах ошибки измерений [2]. Проведенные непосредственно после землетрясения 2008 г. GPS-измерения на пунктах Байкальского геодинимического полигона выявили незначительные изменения в сети. Изменение длины базовой линии Култук—Слюдянка (12.85 км), находящейся на продолжении афтершоковой области, по данным предварительных расчетов, составило около 12 мм с 2006 по 2008 г. Интересны эффекты в рядах измерений, зафиксированные при прохождении сильного афтершока 30 августа 2008 г. ($M_s = 4.6$). На-

блюдался скачок на всех компонентах, однако в течение нескольких минут произошло полное восстановление положения пункта. Таким образом, неупругая составляющая деформаций оказалась незначительной.

Есть основания считать, что район юго-восточного окончания Главного Саянского разлома в настоящее время представляет собой зону подготовки высокомагнитудного события [2]. Для проведения наблюдений за процессом формирования очаговой области будущего сильного землетрясения необходима организация комплексных сейсмологических, деформетрических, геодезических, электромагнитных и гидрогеохимических исследований в районе юго-западного замыкания оз. Байкал и Култукско-Быстринской междупадинной перемычки.

Обычно при анализе последствий сильного землетрясения возникает вопрос: можно ли было его предвидеть? Действительно, в Институте земной коры СО РАН прогностические исследования ведутся в нескольких направлениях. Для долго- и среднесрочного прогноза землетрясений используется анализ временных рядов. Он показал, что в Байкало-Монгольском регионе сейсмические события высоких энергий возникают с периодичностью 50–60 лет и ближайшая активизация сейсмического процесса ожидается в 2009–2015 гг. [9]. Возможно, данное

землетрясение оказалось «первой ласточкой» в череде будущих сильных сейсмических событий.

Кроме того, перед началом каждого квартала в Главное управление МЧС Иркутской обл. отправляется краткая сводка с указанием наиболее вероятных мест возникновения землетрясений определенной энергии за трехмесячный период ожидания. На третий квартал 2008 г. в пределах Центрального и Южного Байкала было выделено пять небольших участков в виде «сейсмических брешей» с повышенной вероятностью возникновения землетрясений средней силы. Одна из них и заполнилась при Култукском событии. По энергетическому уровню в данном случае оценка была несколько занижена. Но подобные ошибки при среднесрочном прогнозе на текущем этапе вполне возможны, поскольку исследования в этом направлении, по сути, только начинаются.

Первые уроки

Землетрясение 27 августа 2008 г. — первое сейсмическое событие с 1959 г., при котором постройки получили серьезные повреждения, но не столько из-за высокой интенсивности подземных толчков, сколько в силу низкого качества строительства и физического износа конструкций. Панельные дома, запроектированные на 9 баллов, при ин-

тенсивности внешнего воздействия 7 баллов вообще не должны были получить никаких повреждений. Ощутимые землетрясения в 1995, 1999 и 2001 гг. в Южном Прибайкалье вызвали лишь беспокоевство людей. Ни при одном из них здания не пострадали.

Култукское землетрясение нельзя считать настоящей проверкой сейсмической надежности жилищного фонда городов Прибайкалья. Здания и сооружения с расчетной сейсмичностью от 8 до 10 баллов подверглись воздействиям, меньшим по величине, чем расчетная сейсмическая нагрузка.

Обследование показало, что состояние многих строений в сейсмоопасных населенных пунктах вызывает опасения. Это ветхий и аварийный жилищный фонд, составляющий до 7%, а также дома со стенами из газозолобетона, получившие широкое распространение при застройке Ангарска и Иркутска во второй половине XX в.

Период осмысления этого достаточно редкого сейсмического события еще далеко не закончен. Предстоит углубленный анализ собранных сведений. Необходимо сделать важные выводы, извлечь уроки, с тем чтобы в дальнейшем лучше предвидеть сценарий последующих, возможно более сильных, толчков и более основательно к ним подготовиться, не забывая при этом главного — самого человека, его жизнь, здоровье и психику... ■

Литература

1. Логачев Н.А. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 5. С. 391–406.
2. Саньков В.А., Читизубов А.В., Лухнев А.В. и др. // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 11. С. 1369–1376.
3. Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А. и др. // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 154–163.
4. Читизубов А.В., Смекалин О.П., Белоусов О.В. и др. // ДАН. 1993. Т. 338. № 6. С. 672–675.
5. Читизубов А.В., Смекалин О.П. // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 6. С. 936–947.
6. Радзиминович Н.А., Гилева Н.А., Мельникова В.И. и др. Южно-Байкальское землетрясение 25 февраля 1999 г. с $M_w=6.0$, $I_0=8$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 г. Обнинск, 2005. С. 264–279.
7. Гилева Н.А., Мельникова В.И., Мордвинова В.В., Добрынина А.А. Релокализация землетрясений в районе Южного Байкала по данным временной сети сейсмических станций PASSCAL_1992 // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: Материалы совещания. Вып. 5. Иркутск, 2007. Т. 1. С. 52–54.
8. Radziminovitch N., D'Overchère J., Melnikova V. et al. // Geophys. J. Int. 2005. V. 161. P. 387–400.
9. Задонина Н.В. Динамика временных вариаций интенсивности опасных природных процессов. Анализ временных рядов. Иркутск, 2007.

Байкал предупреждал о приближении землетрясения

Р.М.Семенов,
доктор геолого-минералогических наук
О.П.Смекалин,
кандидат геолого-минералогических наук
А.И.Оргильянов
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

Природа вовсе не держится за свои тайны, она готова разбазаривать их налево и направо, рассказывать когда угодно и кому угодно — нашелся бы умеющий слушать и понимать.

Даниил Данин.

Неизбежность странного мира

Существует большое количество различных предвестников землетрясений. Но поскольку ни один из них в отдельности, ни их совокупности не дают стопроцентной гарантии успешного прогноза, специалисты не рискуют объявлять тревогу о надвигающейся катастрофе. Так случилось при печально известном Таншаньском землетрясении 1976 г. в Китае, при котором погибло 240 тыс. человек. А ведь предвестники надвигающейся катастрофы там были [1]. Однако объявлять тревогу ученые не стали. Как говорил известный японский сейсмолог Киёо Моги, «...в случае ложной тревоги потери от такого предсказания могут превзойти ущерб от самого землетрясения» [2].

При анализе различных явлений, предварявших уже произошедшее сильное землетрясение, далеко не всегда удается выделить предвестники, по которым с уверенностью можно было бы его предсказать.

Методы определения предвестников времени возникновения землетрясений подразделяются на сейсмологические, геохимические и др. Сейсмологические основаны на изучении изменений сейсмического режима в области подготовки очага землетрясения [1], а геохимические — на изменении содержания различных газов в под-

земных водах [3, 4]. На сегодняшний день имеется несколько примеров успешного предсказания землетрясений, в которых использовались именно эти предвестники [5].

Первые исследования по среднесрочному прогнозу землетрясений в Прибайкалье, основанные на изучении динамики сейсмического процесса в областях подготовки землетрясений, были выполнены в 1970 г. под руководством известного российского сейсмолога А.А.Трескова [6]. Тогда на основании изучения развития сейсмичности установили, что перед некоторыми сильными землетрясениями в областях подготовки их очагов в течение определенного времени отмечались сейсмические затишья. Эпицентры основных толчков, как правило, располагались на окраинах областей подготовки, а площади, занятые афтершоками, находились внутри. Уже те данные позволяли в первом приближении прогнозировать место возникновения ожидаемого землетрясения.

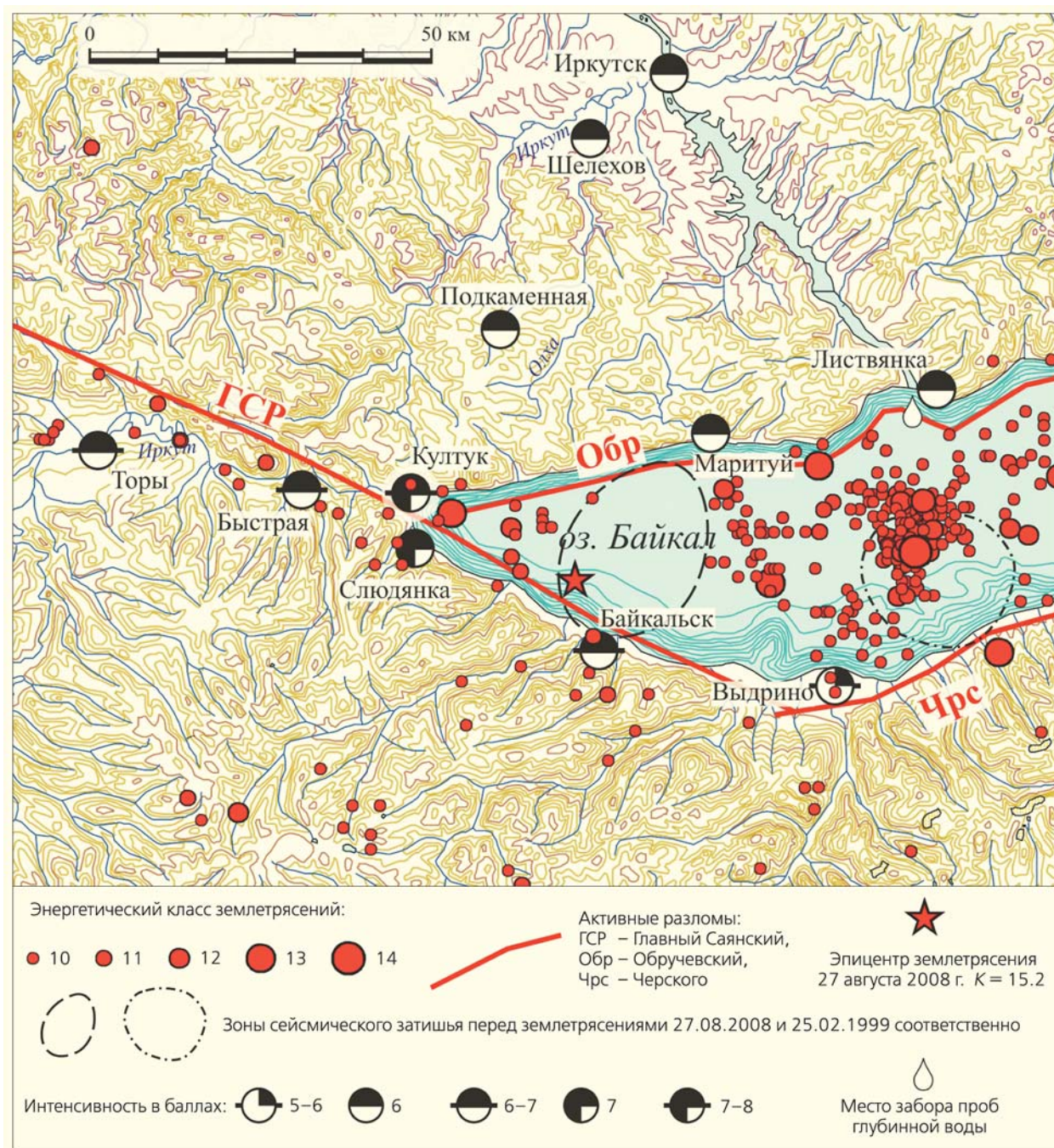
Ретроспективное изучение изменения сейсмического режима в северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны перед землетрясениями с $M = 5.5—6.0$ было проведено одним из авторов данной статьи [7]. В результате этих исследований подтвердилось возникновение перед сильными землетрясениями и существование в течение

определенного времени в их эпицентральных областях зон сейсмического затишья. Площади таких зон занимали сотни квадратных километров, а длительность затишья составляла от года до полутора лет.

Очаг Култукского землетрясения располагался в пределах Байкальской рифтовой зоны, характеризующейся высокой неотектонической и современной геодинамической активностью. На карте общего сейсмического районирования (ОСР-97) территории России этот район отнесен к 9—10-балльному, так что по своим местоположению и силе очаг данного землетрясения оказался вполне прогнозируемым. Неожиданным, как всегда, стало время возникновения события — самое слабое звено в проблеме прогноза землетрясений. И, как всегда, возник вопрос: а можно ли было его предвидеть?

Что предшествовало землетрясению?

Более полувека южная часть Байкала представляла собой довольно обширную (600 км²) зону сейсмического затишья, которое нарушилось в 1999 г., когда в 50 км к северо-востоку от нынешнего эпицентра землетрясения произошел довольно ощутимый, силой в 7—8 баллов, подземный толчок [10]. Текто-



Местоположение эпицентра землетрясения 27 августа 2008 г.

нические напряжения в определенном объеме земной коры были сняты. Зона затишья заполнилась эпицентрами Южно-Байкальского землетрясения, его многочисленных афтершоков и последующих подземных толчков. А вот юго-западнее сейсмическое затишье продолжало существовать, и именно

с ним было связано Култукское землетрясение.

Как мы уже говорили, в пределах данной зоны сейсмического молчания в течение по крайней мере последних 50 лет не происходило землетрясений с $M \geq 3.3$ ($K \geq 10$), в то время как по периферии она была оконтурена эпицентрами с $M \geq 3.3$

($K \geq 10$). Ранее было установлено [9, 10], что при подготовке сильного землетрясения в зоне сейсмического молчания отсутствуют землетрясения, максимальные магнитуды которых на две-три единицы меньше магнитуды ожидаемого землетрясения. Итак, можно было предположить, что в зоне сейсмического

затишья Култукского землетрясения зреет очаг с магнитудой не ниже 5.3–6.3 ($K \geq 13.5–15.4$). Магнитуда Култукского землетрясения (6.3) как раз и попала в этот энергетический предел.

Таким образом, было установлено, что рано или поздно здесь должно произойти сильное землетрясение, а наличие зоны сейсмического затишья свидетельствовало о том, что оно уже на подходе. Возникал вопрос, когда оно произойдет?

А что Байкал?

Давно замечено, что перед сильными землетрясениями в поверхностных и подземных водах наблюдаются колебания содержаний различных газов, в частности гелия [3–5].

Для выявления краткосрочных предвестников за несколько лет до землетрясения мы организовали наблюдения за содержанием гелия в глубинной воде Байкала. Работ подобного плана в открытых глубоководных водоемах, насколько нам известно, пока не проводилось.

В середине 90-х годов прошлого столетия (за несколько лет до Южно-Байкальского землетрясения 1999 г.) в истоке Ангары проводился пятилетний мониторинг содержания ртути в поверхностных водах Байкала. Несмотря на то что содержание ртути в воде ничтожно мало, а отбор проб производился один раз в 10 дней на расстоянии 25 км от будущего эпицентра, перед Южно-Байкальским землетрясением было отмечено повышение содержания ртути [11].

Мировой опыт изучения растворенных газов в подземных водах, в частности гелия и радона, показывает, что накануне сильных сейсмических событий при удачном подборе наблюдательных пунктов можно зафиксировать заметные изменения их содержаний.

Организация измерений содержаний гелия в глубинных водах Байкала в его южной час-

ти была обусловлена тем, что здесь проходит юго-восточная часть Главного Саянского разлома, а также находится узел пересечения Обручевского и Ангарского разломов, с которыми неоднократно были связаны как слабые, так и довольно сильные землетрясения. Последнее значительное событие произошло здесь в 1999 г. с $M = 6.0$ и интенсивностью в эпицентре 7–8 баллов.

Сведений о режимных исследованиях такого рода в крупных открытых водоемах в литературе нет. Имеются лишь дискретные наблюдения, в том числе в разных частях и на различных глубинах Байкала.

Ежедневно мы проводили отбор проб воды по стандартной методике в южной части Байкала, в районе пос. Листвянка, в 1700 м от берега, на глубине 500 м и в 150 м от поверхности дна. Для измерения содержания растворенного гелия использовали прибор ИНГЕМ с ценой деления $1.48 \cdot 10^{-5}$ мл/л. Глубина озера в месте работ около 650 м. Источником повышенного содержания гелия в подземных и поверхностных водах являются трещинно-жилные напорные воды коровых разломов. В районе пункта отбора расположен узел пересечения двух разломов, по которым в донные отложения Байкала происходит разгрузка подземных вод, обогащенных гелием. Из-за малой фильтрационной проницаемости донных отложений в них при постоянном напоре снизу накапливается гелий, который диффузионным путем переходит в воды Байкала, а затем в атмосферу. Таким образом создается определенное равновесное состояние. Резкое изменение напряженного состояния коренного ложа Байкала на границах блоков приводит к нарушению сплошности залегания рыхлых отложений, увеличению вертикальной скорости фильтрации и облегчает высвобождение гелия в озерные воды.

Хронологический анализ изменений содержания растворенного гелия за последние два года показывает, что в отдельных случаях отмечались его повышенные содержания — до $(8–9) \cdot 10^{-5}$ мл/л (фоновое — $5.2 \cdot 10^{-5}$ мл/л). За этот период неоднократно фиксировались сейсмические толчки 10–12-го энергетического класса с эпицентрами, удаленными от пункта отбора проб на расстояния от 20 до 200 км. Увеличение содержания гелия мы не связывали с подготовкой землетрясений и их реализацией. Впервые, их очаги располагались на значительных расстояниях от пункта отбора проб, а во-вторых, сами сейсмические события казались незначительными. Не исключалась возможность повышения содержания гелия в связи с сезонными изменениями направления и скорости движения придонных вод озера.

И вот, когда 27 августа 2008 г. на юге Байкала произошло сильное землетрясение, мы ретроспективно проанализировали изменения содержаний гелия в глубинной воде озера.

Водозабор располагался в 60 км к северо-востоку от эпицентра Култукского землетрясения. Перед 27 августа 2008 г. в течение полутора лет существенных изменений в содержании гелия в глубинной воде Байкала не отмечалось.

Однако с 4 по 18 августа содержание гелия стало колебаться. Сначала его количество увеличилось до $6.83 \cdot 10^{-5}$ мл/л, затем уменьшилось до 5.61, далее снова возросло до 6.02, а с 20 до 24 августа оставалось в пределах фона. Но ни разу количество гелия не опускалось ниже фоновых значений. За два дня до землетрясения (25 августа) концентрация гелия стала ниже фоновой (4.79) и оставалась на этом уровне 26 августа, а утром 27-го, за два часа до землетрясения, повысилось до 5.61. Сразу же после основного толчка и спустя час после землетрясе-

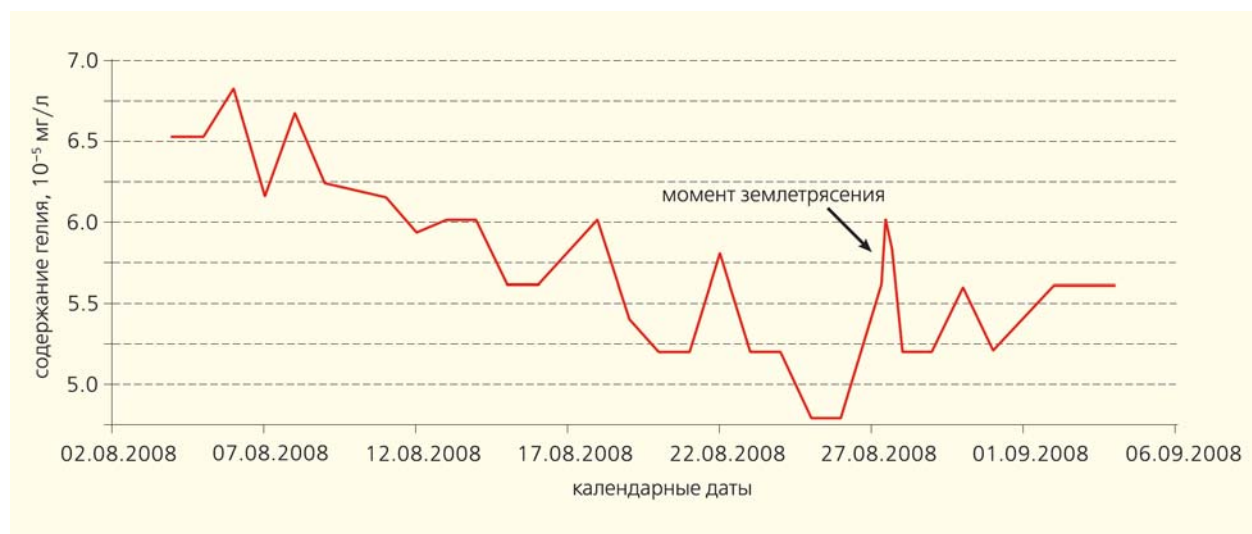


График изменений содержания гелия в глубинной воде Байкала перед Култукским землетрясением.

ния — до $6.02 \cdot 10^{-5}$ мг/л. Затем начался спад, и 28 августа содержания гелия снова установились на уровне фоновых значений.

Понижение содержания гелия ниже фонового значения, а затем его резкое повышение накануне землетрясения вполне могли свидетельствовать о приближении землетрясения. По мнению В.Л.Барсукова с колле-

гами [4], занимавшихся поисками геохимических предвестников землетрясений, именно колебания в содержаниях, а даже не абсолютные их величины, чаще всего и являются предвестниками землетрясений.

Байкал предупреждал нас о том, что в его недрах готовится, что-то необычное. К сожалению, мы пока сумели только прислушаться к нему, но еще не

научились понимать. Если Байкал и в дальнейшем будет посылать такие сигналы, можно надеяться на установление краткосрочного предвестника времени возникновения землетрясений. Для этого необходимо расширить сеть наблюдательных пунктов глубинной воды Байкала, обновить аппаратуру и др. Мы знаем, как это сделать, не знаем на что... ■

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы Президиума РАН №16.8.

Литература

1. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. М., 1993.
2. *Могилев К.* Предсказание землетрясений. М., 1988.
3. *Уломов В.И., Мавашев Б.З.* // Докл. АН СССР. 1967. Т.176. №2. С.319—321.
4. *Барсуков В.Л., Беляев А.А., Серебренников В.С.* Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений). М., 1989.
5. *Цзян Фань.* Хайченское землетрясение 4 февраля 1975 г. Пекин, 1978.
6. *Боровик Н.С., Мишарина Л.А., Тресков А.А.* // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. №1. С.21—26.
7. *Семенов Р.М.* Исследования по поиску средне-краткосрочных предвестников землетрясений // Материалы Всероссийского совещания с международным участием. Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии. №2. Иркутск, 2007. С.135—137.
8. *Ружич В.В., Семенов Р.М., Мельникова В.И. и др.* // Геология и геофизика. 2002. Т.43. №5. С.470—483.
9. *Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Тейтельбаум Ю.М.* Эффект сейсмического затишья при больших землетрясениях // Исследования по физике землетрясений. М., 1976. С.146—169.
10. *Соболев Г.А., Завьялов А.Д.* // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. №4. С.17—24.
11. *Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д. и др.* // Докл. РАН. 2003. Т.389. №2. С.235—238.

Эпоха олдована открыта на острове Сокотра

Вести из экспедиций

Член-корреспондент Х.А.Амирханов,

доктор исторических наук
Институт археологии РАН

В.А.Жуков

В.В.Наумкин,

доктор исторических наук
Институт востоковедения РАН

А.В.Седов,

доктор исторических наук
Музей восточных культур
Москва

Исследования Российской археологической экспедиции в Республике Йемен, которые ведутся на протяжении уже более двух десятилетий, буквально в последние месяцы преподнесли неожиданные и экстраординарные находки. Речь идет об открытии на о.Сокотра остатков культуры наиболее ранней эпохи человеческой истории — олдована. Для Африканского континента и Ближнего Востока эта эпоха заключена в хронологических рамках от 2,5 до 1,4 млн лет назад. Памятники столь отдаленного от нас времени, находящиеся вне пределов Африки, обнаруживаются чрезвычайно редко — известные объекты такого рода исчисляются единицами. Вот почему выявление нового района со стоянками людей эпохи олдована представляет большую ценность для первобытной археологии, а то что такие памятники открыты на острове, не может не вызывать особого научного интереса.

Остров Сокотра расположен в северо-западной части Индийского океана и принадлежит Республике Йемен. Это самый крупный остров одноименного архипелага, являющегося продолже-

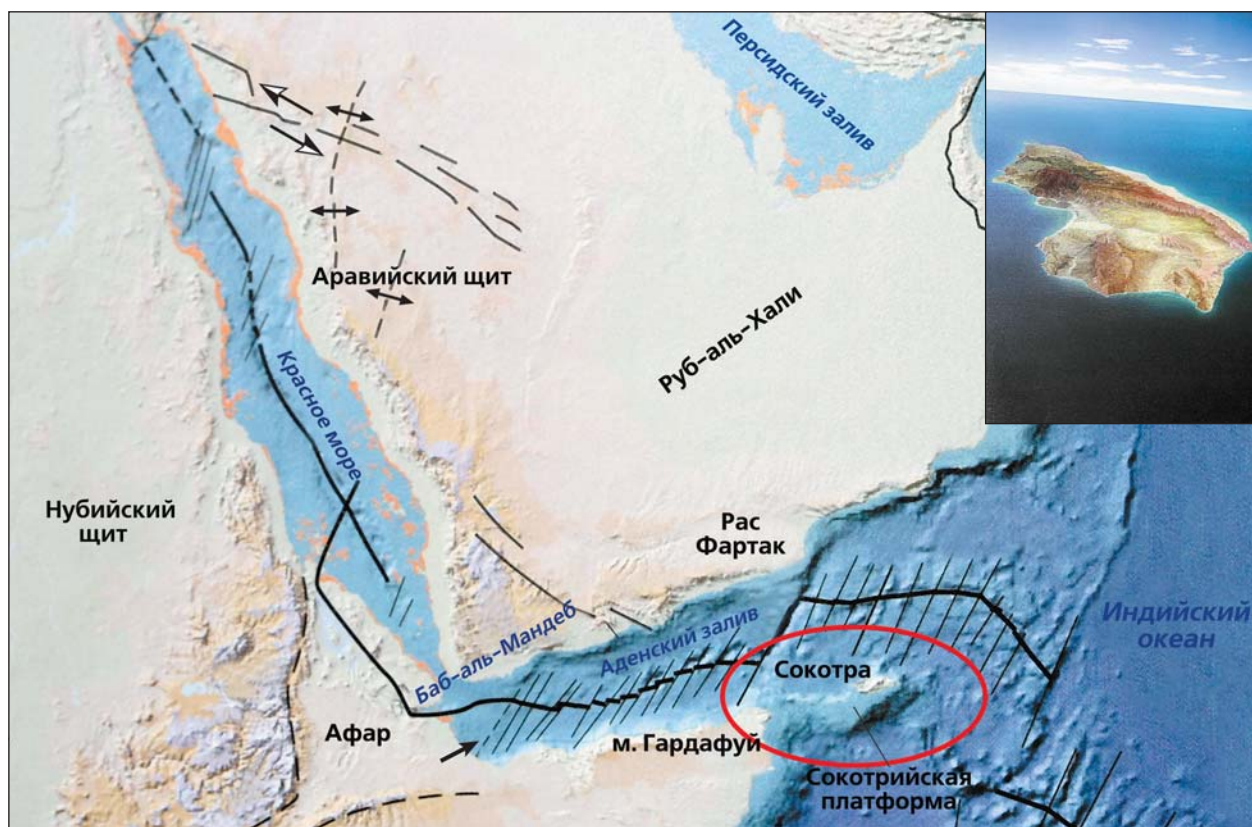
нием оконечности Африканского Рога. Помимо самой Сокотры в этот архипелаг входят острова Абд-эль-Кури, Самха и Дарса, а также еще два скальных выступа. Протяженность Сокотры в длину 125 км, в ширину — 42 км, площадь — 3650 км². До самого западного из ближайшей к нему точки на Африканском континенте — мыса Гвардафуй — 80 км. Расстояние от Сокотры до мыса Рас Фартак на Аравийском побережье — 380 км [1].

К населенным островам архипелага относятся Сокотра, Абд-эль-Кури и Самха. По данным на 2000 г., на первом из них проживало около 45 тыс. человек; на Абд-эль-Кури имелось четыре деревни с населением 371 человек, а на о.Самха — одна деревня с населением 139 человек [2].

Архипелаг относится к зоне жарких и сухих тропиков и входит в состав Северо-Восточно-Африканской нагорной и степной провинции Палеотропического флористического царства. На Сокотре распространены растения, характерные для Афарско-Сомалийского региона Африки. Они сильно «разбавлены» изобилием эндемичных видов древесной, кустарниковой и травянистой растительности. Никто не остается равнодуш-

ным при виде причудливых деревьев, называемых огуречным (*Dendrosicyos*), драконовым (*Dracaena serrulata*), бутылковидным (адениум тучный — *Adenium*) и др. Еще в конце позапрошлого века экспедиция британского исследователя И.Балфоура выявила здесь более 200 видов растений, ранее не известных науке. К настоящему времени на острове описано не менее 850 видов, из них 270 — эндемики. Недаром Сокотру часто называют «галапагосами Индийского океана».

На Сокотре, которая относится к Восточно-Африканской подобласти Эфиопской фаунистической области, нет диких видов крупных млекопитающих. Коренные виды, за исключением летучих мышей, неизвестны. Столь характерную для острова бедность фауны можно объяснить вымиранием многих местных видов и сложностью естественного проникновения новых представителей животного мира. Однако, в отличие от наземной фауны, достаточно богата морская прибрежная зона Сокотры: здесь в изобилии водятся тунец, королевская макрель, скумбрия и другие виды промысловых рыб; многочисленны ракообразные — крабы, лангусты, креветки, а также моллюски.



Местоположение о.Сокотра. На врезке — вид острова из космоса [8].

В геологической истории Сокотры отражены процессы, сопровождавшие разделение единых прежде территорий Южной Аравии и Африканского Рога. Примерно 20 млн лет назад в районе Сокотры морской режим сменился континентальным. В ботанико- и биогеографическом отношении Сокотра в то время была неразрывно связана с югом Аравии и северо-востоком Африки. Раскрытие Аденского залива и сопутствующее этому опускание крупных блоков суши, происходившее около 15 млн лет назад, привело к отдалению архипелага от материка, а в плиоцене, около 6–8 млн лет назад, произошло разделение островов самого архипелага — они обрели нынешние очертания. С того же времени на Сокотре начинается закладка современной сети основных долин и формирование денудационно-тектонических впадин [3–5].

В плейстоцене как геологические процессы, так и природные колебания на острове не отличались масштабностью проявлений. Наиболее существенными для этого времени можно считать колебания уровня моря, вызванные глобальными природно-климатическими изменениями. Трансгрессии моря в межледниковые эпохи с размахом до 10–15 м выше современного его уровня зафиксированы на Сокотре для среднего и позднего плейстоцена. Последняя из плейстоценовых трансгрессий (около 30 тыс. лет назад) сформировала в прибрежном рельефе морскую террасу высотой 5–7 м [6]. Наиболее высокие террасы галечно-валунных отложений с обильным включением кораллов и раковин моллюсков достигают 30–35 м над ур.м.

Во время регрессий площадь островов существенно увеличивалась, и тогда Сокотра сливалась в единую сушу с другими

островами архипелага (за исключением о.Абд-эль-Кури). Появлялся ли в такие периоды непрерывный сухопутный мост между оконечностью Африканского Рога и Сокотрой — вопрос до конца не ясный. Но известно, что при крупных регрессиях море отступало более чем на 100 м ниже относительно современного уровня. И даже если в такие отрезки времени сплошной перемычки между континентом и островом не возникало, на поверхность воды в пределах архипелага должно было выступать множество мелких островов и скальных гряд, разделенных мелководьем.

С точки зрения общей геоморфологии Сокотра являет собой три основных района: прибрежную равнину шириной до 8 км, окаймляющую остров преимущественно на юге; платообразную возвышенность с высотами 300–900 м и горы Хагьер (максимальная высо-

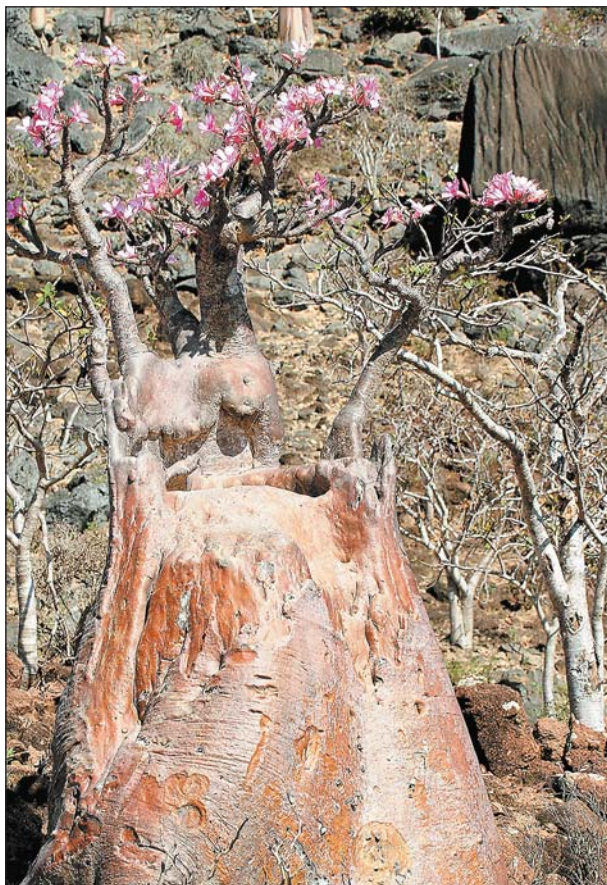


Роща драконовых деревьев.

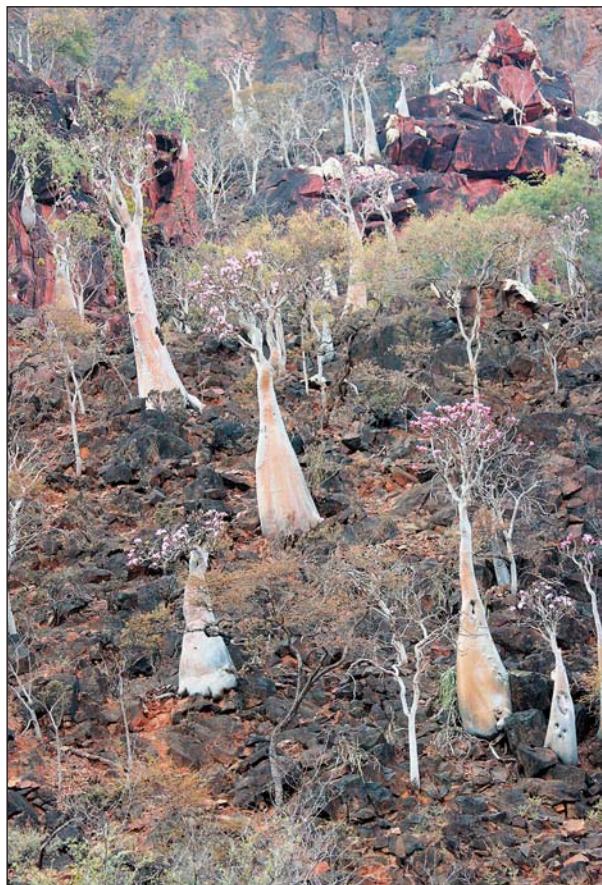
Здесь и далее фото Х.А.Амирханова



Огуречное дерево, выросшее на глыбе, которая скатилась со склона.



Бутылковидное дерево причудливой формы.



Роща цветущих бутылковидных деревьев на склоне вади.

та — 1525 м), протянувшиеся через восточную часть острова в субширотном направлении.

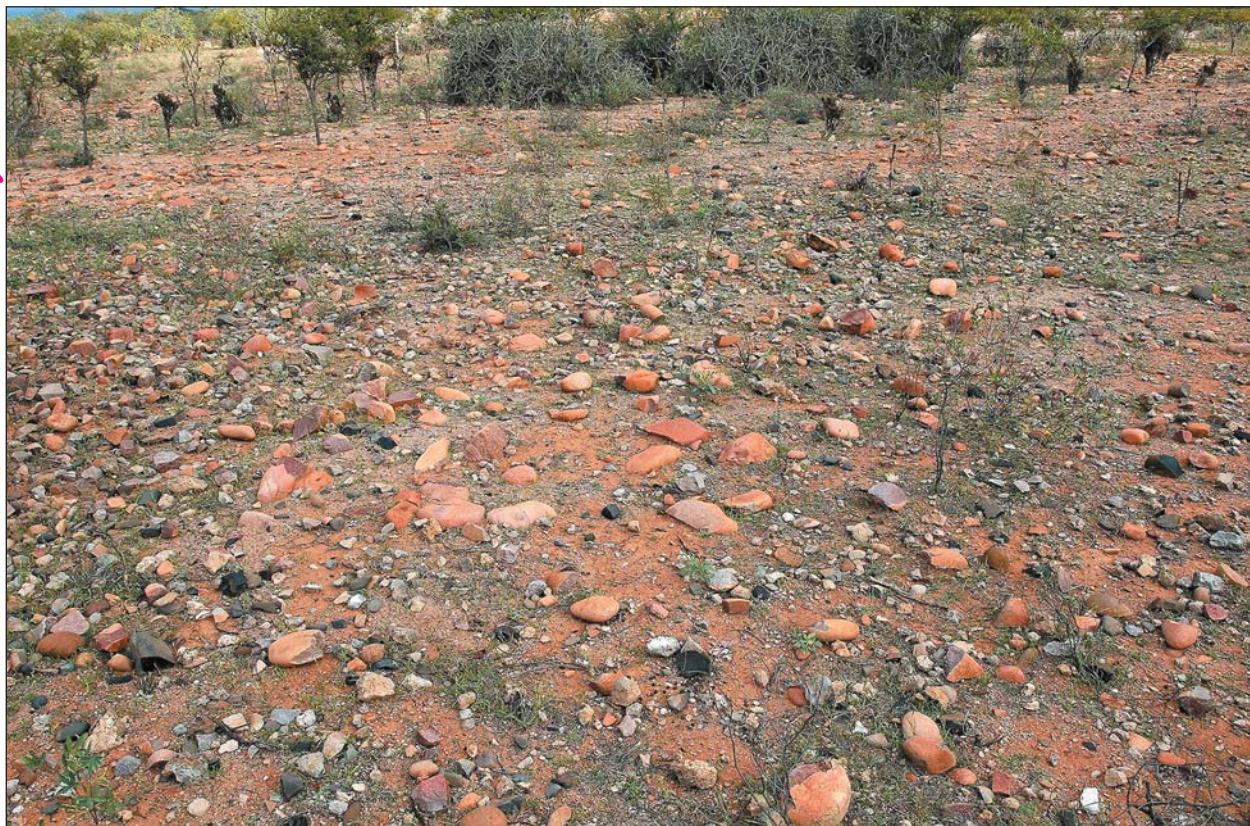
Четвертичные отложения на Сокотре распространены ограниченно. В виде маломощного чехла красноцветных почв они покрывают прибрежную полосу острова, а также некоторые районы плато. На северном побережье, особенно в центральной его части, от г.Хадибо до мыса Рас Хаулаф, рыхлые галечно-валунные отложения обширной приморской равнины полого опускаются от скального подножия плато к берегу, не образуя сколь-нибудь заметной террасовой лестницы. Уровень же линии перегиба от подножий плато, практически лишенных рыхлых отложений, к приморской равнине составляет около 40–45 м над ур.м.

Прибрежные отложения на всю их мощность прорезают от-

носительно крупные вади (сухие долины): Хажря (к востоку от с.Сук), Динагхен (к западу от с.Сук) и вади на восточной окраине г.Хадибо — административного центра острова. В естественных обнажениях этих сухих долин максимальная мощность сцементированных галечно-валунных отложений четвертичного возраста не превышает 4 м. Днище верховий и средних частей вади в центральной части острова на всю ширину заполнено валунно-галечным материалом. Обнаружить в таких вади даже маломощные разрезы с содержанием какого-либо мелкозема нам не удалось.

История Сокотры известна весьма отрывочно. Особенно это относится к периоду, предшествующему позднему Средневековью. К настоящему времени на острове выявлено более полусотни археологических источ-

ников. Если основываться на тех из них, достоверность которых не может быть оспорена, то заселение острова следует относить к X в. Однако довольно активно обсуждается вопрос о вероятности заселения данной территории уже во второй половине I-го тысячелетия до н.э. [7]. Это не кажется невозможным, если учесть, что сам остров был известен в античное время — он упоминается в сочинениях древних авторов. Что же касается обитаемости острова в каменном веке, то этот вопрос нами просто не ставился: если теоретически и можно было бы допустить случайное попадание сюда людей на примитивных судах в неолите, т.е. 5–8 тыс. лет назад, то подобный путь заселения Сокотры в более раннее время представлялся абсолютно невозможным. Тем интереснее и значительнее оказалось обнаружение здесь



Так выглядит один из пунктов скопления каменных орудий.



Рабочий момент разборки отложений шурфа.

культуры наиболее ранней стадии древнекаменного века.

Первые находки орудий, изготовленных из кремневого сланца, были сделаны в октябре 2009 г. В.А.Жуковым — корреспондентом ИТАР-ТАСС, работавшим на Сокотре в составе Российской археологической экспедиции в Республике Йемен (начальник экспедиции А.В.Седов). Эти каменные изделия, найденные в нескольких пунктах к востоку и западу от Хадибо, не имели геолого-стратиграфических привязок, не был ясен не только геолого-геоморфологический, но и собственно археологический контекст. Возникли вопросы, связанные с неопределенностью основных технических и типологических характеристик этой каменной индустрии. Однако налицо были сами каменные изделия, пусть и собранные выборочно в разных пунктах. И если отвлечься от множества этих пока неясных



Массивное каменное орудие — пик.

моментов, принадлежность находок к одному из ранних этапов древнекаменного века представлялась вполне допустимой.

Для проведения дальнейших необходимых исследований на Сокотру в феврале 2009 г. была организована специальная поездка Х.А.Амирханова и В.В.Наумкина. Ввиду ограниченности времени и средств поиски решено было сосредоточить на Хадибской приморской равнине северного побережья. Были совершены также рекогносцировочные поездки к г.Калансия на западной оконечности острова, на плато и в вадии Дирх'о в центральной части острова, к югу от гор Хагьер.

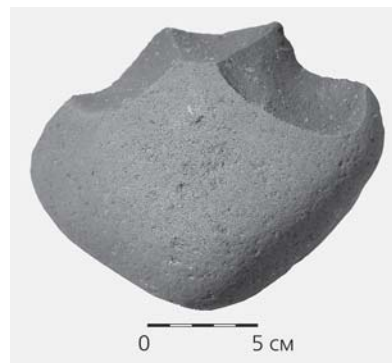
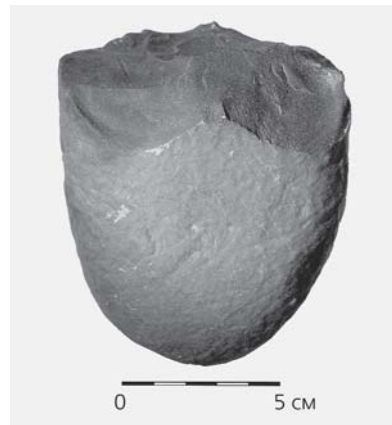
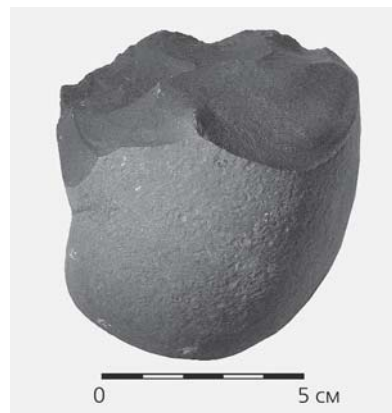
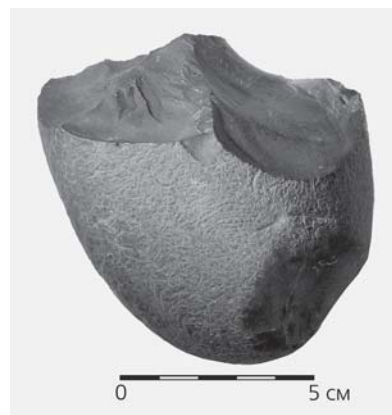
В итоге проведенных работ установлено, что преимущественно в устьевых частях трех вадии (Хажря, Динагхен, Хадибо) сосредоточены остатки десятков (а скорее сотен) стоянок. Эти остатки выглядят как «пятна» скопления каменных орудий на современной поверхности с повторяющимся и строго определенным типологическим составом, в котором господствуют чопперы (рубящие галечные орудия) в сочетании с пиками. В отдельных случаях скопления орудий совпадают с круговыми выкладками из крупных камней. Такие выкладки имеют разную степень сохранности и относятся к двум разновидностям: струк-

туры диаметром примерно 3 м и структуры в виде круговой очажной выкладки диаметром около 70 см. Связь данных структур со скоплениями каменных изделий невозможно доказать стратиграфическим методом, но контекстуальная и планиграфическая связь между этими двумя категориями находок представляется реальной.

Чрезвычайно много каменных артефактов сосредоточено на пространстве между вадии Хажря и вадии Динагхен. Интересно отметить, что на самых древних археологических памятниках из числа известных к настоящему времени (а это раннесредневековые селища, находящиеся в 1—2 км от исследованного нами участка) полностью отсутствуют каменные орудия, подобные тем, о которых идет речь. Не обнаружены они нами и в каком бы то ни было ином контексте в других районах острова.

Бессистемный, выборочный сбор на археологических памятниках одних лишь выигрышных предметов, конечно, недопустим. Он может только разрушить контекст объектов. Поэтому решено было сосредоточить внимание на характере и распространении материала (без изъятия артефактов) по площади в несколько гектаров в сочетании с максимально подробным изучением какого-то одного, более или менее типичного, скопления.

Выбранный для исследования участок лежал на линии плавного перегиба предгорной равнины к береговой полосе. Абсолютный уровень высоты здесь примерно 30 м. Маломощные рыхлые отложения сложены красноцветным суглинком, обильно насыщенным валунами и галькой. В составе обломочного материала достаточно много кораллов, встречаются раковины морских моллюсков плохой сохранности. Избранный пункт (обозначен как вадии Хажря 1) расположен на левом берегу вадии Хажря, примерно в 1 км к югу от с.Сук. Сбор материала прово-



Чопперы — рубящие орудия.

дился на прямоугольном участке размером 6×12 м. На дневной поверхности здесь было найдено 26 артефактов. Среди них: нуклеус, отщепы, осколки, отбойник. Орудия представлены чопперами четырех разновидностей и одним выразительным пиком. Различия в сохранности изделий нами не отмечены.

Шурф размером 2×2 м, заложенный в пределах угадываемой здесь округлой каменной выкладки, не принес значимых результатов. Было установлено, что мощность рыхлых отложений не превышает 35 см. Единичные артефакты в виде искусственно расщепленных камней встречались на глубину до 10 см. Всего обнаружено восемь предметов. Они представлены отщепами, чешуйкой оббивки и обломками галек. К орудиям относится лишь один предмет — скребло на массивном галечном отщепе.

Помимо материала, собранного в пункте вади Хажря 1, нами было взято в качестве образцов ограниченное количество артефактов, показательных по исходному сырью и технико-типологическим характеристикам, еще с двух участков: в 200 м к западу от данного пункта (вади Хажря 2) и в 200 м к востоку от него же (вади Хажря 3). Такое плотное сосредоточение памятников, конечно, неслучайно. Трудно найти на острове какое-либо иное место, где сочеталось бы столько благоприятных для жизнеобеспечения факторов. Тут в изобилии встречается хорошее сырье для каменных орудий (кремнистый сланец), существу-

ют водоносные русла с высоким стоянием грунтовых вод, имеется достаточное количество морских и наземных пищевых ресурсов, близко расположены друг к другу различные ландшафтные пояса. Все эти факторы в тот отрезок древности, к которому относятся открытые нами стоянки, способствовали активному освоению людьми исследованной части острова.

Но главная интрига состоит в том, как датировать эти памятники? Обычно из-за отсутствия прямых данных решить такой вопрос либо весьма проблематично, либо вообще невозможно. В нашем случае, однако, он предстает в виде несложной задачи с двумя известными: мы знаем, откуда этот тип культуры мог проникнуть на остров и откуда он проникнуть не мог ни при каких обстоятельствах. Из геологической истории региона следует, что территорией исхода могла быть только Северо-Восточная Африка, а технико-типологические характеристики указывают, что тип культуры, представленный вновь открытыми памятниками, мог попасть сюда никак не позднее примерно 1.4 млн лет назад. В это время начальная стадия археологической периодизации истории, называемая олдованом, в Северо-Восточной Африке повсеместно, а также на Ближнем Востоке сменяется эпохой ашеля и впоследствии никогда больше не повторяется. Появляется новый, хорошо узнаваемый набор орудий с характерными для этой новой эпохи чертами. Однако такого набора

артефактов мы в сокотрийских материалах не находим.

Итак, если вопрос о том, не позже какого времени изучаемая нами древняя культура появилась на Сокотре, вполне решаем, то ответить на другой вопрос — как долго она здесь, на новой почве, могла существовать — мы не можем. На территории острова отсутствуют признаки какой бы то ни было следующей за олдованом эпохи каменного века — ашеля, среднего палеолита, верхнего палеолита и т.д. При всегда скудных ресурсах сухих и жарких тропиков, изолированности от мира и ограниченности территории острова культура, для которой характерны примитивные формы жизнеобеспечения, вряд ли могла предоставить людям возможность выживания на протяжении десятков и сотен тысяч лет. Сокотрийцам известно ведь немало примеров, когда даже в относительно благополучном XX в. при ведении хозяйства, основанного на производстве продуктов, существенную часть населения острова враз уносили голод и эпидемии.

Таким образом, Сокотра не стала «обителью благодати» для своих первых насельников эпохи олдована. Изучаемые нами памятники предстают свидетельством драмы, когда мир, ограниченный островом, оказался по известной библейской аналогии последним пристанищем для одного из «колен» древнейшего рода человеческого на пути его первоначального расселения из своей прародины — Восточной Африки — по всей планете. ■

Литература

1. Miller A.G., Morris M. Conservation and Sustainable Use of Tye Biodiversity of Soqotra Archipelago. Edinburg, 2002.
2. Miller A.G., Morris M. Etnoflora of the Soqotra Archipelago. Edinburg, 2004.
3. Beydun Z.R., Bichon H.R. Geology of Socotra Island, Gulf of Aden // Quat. K. Geological Society. L., 1970. V.125. №3. №499.
4. Наумкин В.В. Сокотрийцы. М., 2008.
5. Лукашов А.А. Природа Сокотры и Абд эль-Кури // Наумкин В.В. Сокотрийцы. М., 2008.
6. Свиточ А.А. Острова западной части Индийского океана / Под ред. Л.Г.Никифорова. М., 1982.
7. Седов А.В. Археологические памятники // Наумкин В.В. Сокотрийцы. М., 2008.
8. Cbeung C., Vantier K.de. Soqotra: a Natural History of the Islands and Their People. L., 2002.

Новости науки

Космические исследования

Раскрыта загадка рентгеновского излучения Галактики

Природа «рентгеновского хребта Галактики» — излучения, распределенного вдоль галактической плоскости, — долгое время оставалась загадкой для астрономов всего мира. Проблема в том, что оно имеет все признаки излучения очень горячего газа, температура которого достигает 10—100 млн градусов. Столь горячий газ исследователи часто обнаруживают в гигантских скоплениях галактик, масса которых в сотни и тысячи раз больше массы галактики Млечный Путь, что и позволяет удерживать его от «разбегания». Однако сохранить такой газ в нашей Галактике не представляется возможным; а если все же допустить, что он улетает из Млечного Пути, то для восполнения постоянных его потерь потребовалось бы энергии больше, чем во всех ее известных резервуарах нашей Галактики. Таким образом, обнаруженное рентгеновское «свечение» требовало либо пересмотра существующего понимания энергетики Галактики, либо альтернативного горячему газу объяснения его природы.

Более 20 лет назад М.Г.Ревнивцев и его коллеги из Института космических исследований РАН выдвинули гипотезу, согласно которой рассматриваемое рентгеновское «свечение» образовано излучением множества более слабых, неразличимых для прежних орбитальных обсерваторий источников (подобно тому, как видимое глазу излучение Млечного Пути складывается из света многих далеких и от этого очень слабых

звезд). Однако тогда эта гипотеза не была признана. Впервые ее удалось косвенно подтвердить благодаря комплексным исследованиям, проведенным с помощью орбитальной обсерватории RXTE (НАСА): тогда Ревнивцев с коллегами смогли получить высококачественную карту «рентгеновского хребта» Галактики и показать, что распределение этого излучения очень близко повторяет распределение обычных звезд. «Перепись» слабоизлучающего рентгеновского населения Галактики, проведенная С.Ю.Сазоновым и его коллегами из ИКИ РАН, прямо указала на возможные классы тех источников, которые делают вклад в протяженное свечение «хребта». Ими могли быть, во-первых, аккрецирующие белые карлики — остатки «умерших» звезд, чье вещество практически полностью выгорело. Размеры их очень малы, а масса и плотность необычайно велики. Из-за сильного гравитационного поля белый карлик, входящий в двойную звездную систему, малопомалу «стягивает» вещество со второй звезды. Разогревшись до высоких температур, оно и рождает рентгеновское излучение. Второй класс источников — звезды с активными коронами, в тысячи раз активнее нашего Солнца.

Следующей ступенью в разрешении загадки формирования галактического «хребта» должно было стать прямое разделение рентгеновского излучения диска Галактики на отдельные источники. С этой целью группа Ревнивцева подала заявку на сверхглубокое наблюдение области галактической плоскости с помощью орбитальной обсерватории «Chandra» (у нее на сегодня лучшее в мире угловое разрешение в рентгеновских лучах). Для обследования была вы-

брана наиболее близкая к центру область Галактики, чтобы сигнал от «свечения» был максимален.

В 2008 г. такое наблюдение было проведено. Его продолжительность составила около миллиона секунд. Более 11 дней непрерывного сканирования определенной точки неба позволило получить уникальные по богатству данные. В кружке радиусом всего 2.5 угловой минуты (что в 10 раз меньше размера полной Луны на небе) было обнаружено 473 (!) отдельных источника рентгеновского излучения, большинство из которых — белые карлики и звезды с активными коронами. Достаточно сказать, что самые слабые из рентгеновских источников дали за все время наблюдений всего по несколько фотонов. Иными словами, обнаружены объекты, от которых на Землю за несколько дней приходит всего 1 фотон на телескоп с диаметром более метра!

Итак, рентгеновское излучение, ставившее в тупик астрономов всего мира, действительно обладает составной природой. В частности, на энергиях более 5—7 кэВ (рентгеновский диапазон электромагнитного излучения) обнаружены точечные источники позволяют объяснить 88±12% всего галактического свечения в исследованном направлении — практически все или большую его часть. Из оставшейся неразрешенной доли свечения значительный вклад могут вносить источники еще более слабые, чем уже обнаруженные. Кроме того, малая часть может принадлежать горячей разреженной межзвездной среде, разогретой взрывами сверхновых.

Теперь перед астрофизиками встала задача — получить максимальную информацию о звездном населении изучаемой области во

всех спектральных диапазонах. В ИК-диапазоне она хорошо просмотрена с помощью орбитальной обсерватории «Spitzer», в оптическом лишь малую часть области наблюдал космический телескоп «Hubble». Чтобы исправить положение, группа астрофизиков из ИКИ РАН под руководством Р.А.Буренина провела наблюдения на Российско-Турецком телескопе РТТ-150 и получила основные характеристики звездного населения этой области. Планируется получить изображения и на 6-метровом телескопе «Магеллан» (Чили). Огромным шагом вперед должен стать рентгеновский обзор всего неба астрофизической орбитальной обсерваторией «Спектр-РГ», которая в настоящее время разрабатывается Россией совместно с Германией и запланирована к запуску в 2012 г.

По сообщениям Пресс-службы Института космических исследований РАН

Астрономия

Две черные дыры вот-вот сольются

Астрономы впервые обнаружили объект, похожий на тесную двойную систему из сверхмассивных черных дыр. Эти галактические чудовища обращаются вокруг общего центра масс с периодом около 100 лет и в конце концов должны столкнуться. Их слияние способно породить гравитационные волны достаточно большой мощности, чтобы их можно было обнаружить наземными детекторами.

Астрономы убеждены: найти одиночную сверхмассивную черную дыру весьма просто — такой объект, полагают они, притаился в центре почти каждой галактики. Но наблюдать гравитационно связанные пары подобных объектов до сих пор никому не удавалось.

Похоже, однако, что сделать это сумели Т.Боросон и Т.Лауэр (Т. Boroson, T. Lauer; Национальная оптическая астрономическая обсерватория в Тусоне, США). Изучая Слоановский цифровой обзор неба (Sloan Digital Sky Survey) — со-

брание астрономических изображений и спектральной информации о сотнях тысяч галактик, — они заметили, что компьютерная программа зарегистрировала квазар, оптические характеристики которого существенно отличаются от остальных объектов в выборке: квазары, использующие в качестве источника энергии падение вещества на черную дыру, светятся ярче, чем любые другие космические объекты.

Боросон и Лауэр обнаружили двоящую линию водорода в спектре квазара вместо одной, которую должен излучать газ в окрестности одиночной черной дыры. На основе этой спектральной характеристики они рассчитали, что две сверхмассивные черные дыры находятся на расстоянии всего 0,3 св. года друг от друга (это вдесятеро меньше расстояния от Солнца до ближайшей к нему звезды) и обращаются вокруг общего центра масс с огромной скоростью — 6000 км/с (для сравнения: орбитальная скорость Солнца вокруг галактического центра около 220 км/с).

Nature. 2009. V.458. №7234. P.53–55 (США).

Планетология

Метановые ливни на Титане

Представьте себе мир, в котором средняя дневная температура равна -179°C , а с небес обрушиваются ливневые дожди из жидкого метана, наполняя неглубокие, но огромные водоемы, превышающие по площади Великие озера Северной Америки. Хоть это и похоже на научную фантастику, на самом деле, как показывают новейшие изображения, переданные зондом «Cassini», именно так выглядит поверхность Титана, самого крупного спутника Сатурна.

Эти изображения изучала группа ученых под руководством Э.Тёртл (E. Turtle, Лаборатория прикладной физики Университета Дж.Хопкинса, США). По их заключению, темные пятна на поверхности Титана — скопления жидкого метана — со временем расши-

ряются; над ними нависают различимые на снимках облака, осадки из которых, похоже, и наполняют эти озера.

Титан — одно из наиболее активных тел Солнечной системы, хотя он и расположен на расстоянии 1,2 млрд км от Солнца. Его атмосфера толще и плотнее, чем земная, в ней присутствуют облака и дуют ветры. Более того, с тех пор как в 2004 г. зонд «Cassini» вышел на орбиту вокруг Сатурна, ученые наблюдали на Титане признаки сезонной цикличности погоды.

Открытие метановых озер породило новую загадку. Ультрафиолетовое излучение постоянно разрушает метан, так что, если бы его запасы на поверхности Титана не пополнялись, он давно должен был исчезнуть. Откуда же берется метан? По предположению исследователей, он, скорее всего, поступает из недр этого небесного тела. На Титане могут быть вулканы, выбрасывающие вместо лавы потоки газообразного метана. Его запасы, оставшиеся от первичного облака, из которого образовался этот спутник Сатурна, возможно, вполне достаточны для поддержания метановых ливней.

Geophysical Research Letters. 2009. V.36. P.L02204 (США).

Физика

Нанотрубки взвешивают отдельные атомы

Механические резонаторы широко используются для «взвешивания» небольшого количества адсорбированного на них вещества. Принцип действия таких устройств основан на уменьшении частоты колебаний при увеличении массы адсорбента. В отличие от стандартных масс-спектрометров, они не требуют предварительной ионизации частиц и позволяют определить именно массу, а не отношение массы к заряду. Их чувствительность тем выше, чем меньше масса самого резонатора.

Для изготовления нанорезонаторов обычно используют литографию и травление. По меркам наномира эти устройства весьма

крупные: их минимальные поперечные размеры составляют десятки нанометров, что не позволяет взвесить, например, одну биологическую макромолекулу.

Американские специалисты из Университета штата Калифорния в Беркли и Национальной лаборатории Лоуренса (там же) сконструировали «нановесы»¹, в которых функцию резонатора выполняла углеродная нанотрубка длиной 254 нм и диаметром около 2 нм. Один ее конец жестко фиксировали на отрицательном электроде, другой располагали на небольшом расстоянии d от положительного. Модулируя напряжение на электроде, достигали колебаний нанотрубки, а эти колебания изменяли I , поскольку ток автоэмиссии I чрезвычайно чувствителен к величине d . Эксперимент проводили в сверхвысоком вакууме при комнатной температуре. Чувствительность устройства при определении суммарной массы адсорбированных на нанотрубке атомов золота составила $1.3 \cdot 10^{-25}$ кг·Гц^{-1/2}, что эквивалентно $0.4 M_{Au}$ ·Гц^{-1/2}, где M_{Au} — масса одного атома золота. Предыдущий рекорд чувствительности улучшен сразу на четыре порядка!

<http://perst.ispp.ras.ru>
(2008. Т.15. Вып.19).

Физика. Химия

Технологичный графен

На протяжении последних лет в центре внимания многих исследователей находится графен (монослой графита)², он вызывает огромный научный и практический интерес. Однако первые структуры из графена были крайне нетехнологичными. Их получали осаждением чешуек графита (среди которых были и однослойные, и двухслойные, и многослойные) на подложку — обычно кремниевую пластину, покрытую слоем SiO₂.

Недавно японские исследователи добились выдающегося ре-

зультата в получении графена методом эпитаксиальной технологии: выращивании слоя непосредственно на подложке³. Вообще-то эпитаксиальным ростом графена на карбиде кремния SiC занимают с 1995 г., однако подложки из этого материала неудобны. Предпочтительны кремниевые, которые используются в современной микроэлектронной промышленности. Компромисс состоит в том, что на кремниевой подложке вначале выращивают слой SiC (так называемую виртуальную подложку), а уже на нем — графен. Единственный тип SiC, который растет на кремнии, — это (3С-)SiC. Авторы методики выбрали особую ориентацию кремниевой подложки — (110) вместо (111), — чтобы кристаллическая симметрия поверхности согласовывалась с сотовой структурой графена. Правда, весьма велико рассогласование постоянных решеток — оно составляет 20%. Это приводит к напряжениям, а они в свою очередь — к дефектам. С помощью некоторых уловок авторам удалось снизить температуру процесса эпитаксии на 200°С и получить рекордно совершенные на сегодняшний день слои графена, о чем свидетельствует малая ширина пиков на спектрах рамановского рассеяния.

<http://perst.ispp.ras.ru>
(2008. Т.15. Вып.17).

Тектоника

Современные движения Горного Алтая

До 2000 г. современные движения Горного Алтая специалисты изучали методами классической геодезии (путем нивелирования первого класса с периодичностью 20—30 лет). В 2000 г. силами Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск) была заложена геодинамическая сеть, позволяющая вести измерения методом GPS. Цель такой работы — установить трех-

³ Suemitsu M. et al. // Presented at 14th Int. Conf. Solid Films and Surfaces. Dublin, June 30, 2008. (См. также: e-Journal of Surface Science and Nanotechnology.)

мерную картину смещения точек сети, с тем чтобы выделить тектоническую составляющую движений и определить смещения, вызванные сейсмическими процессами в Алтае-Саянской зоне.

Для решения этих задач, сообщают авторы (В.Ю.Тимофеев и др.), измерения проводились двухчастотными геодезическими приемниками, причем одновременно по всем пунктам наблюдений и при жесткой центровке антенн на сетевых пунктах. С 2000 г. непрерывную регистрацию ведет в районе Новосибирска постоянная станция NVSK, а также работают специально оборудованные пункты на сейсмостанциях Алтая, на которых с 2004 г. базируется региональная сеть станций космической геодезии. При обработке результатов измерений учитываются и данные постоянных станций Евразии.

Были проведены восемь циклов измерений в районе Горного Алтая и его предгорий. Благодаря созданию здесь сети GPS удалось объединить соответствующие сети Средней Азии, Тувы и Байкальской рифтовой зоны. Анализ наблюдений по всем этим пунктам с привлечением данных по Монголии и Китаю позволил получить картину современных движений всей активной части Центральной и Восточной Азии. При этом специалисты выявляли закономерности современного деформирования земной коры, изучали влияние Индо-Азиатской коллизии и особенности проявления этой коллизии на ее северной границе — границе областей активных современных процессов на Алтае, в Туве и в Байкальской рифтовой зоне.

Важный итог работы состоит в том, что удалось определить поле скоростей современных движений земной коры перед сильнейшим ($M = 7.3-7.5$) Чуйским землетрясением на юге Горного Алтая, произошедшим 27 сентября 2003 г., и в этом поле выявить некоторые аномалии. Установлено, что в период перед землетрясением (2000—2003) на территории Горного Алтая две группы станций зафиксировали северо-западную

¹ Jensen K. et al. // Nature Nanotech. 2008. V.3. P.533.

² Получение графенов в макроскопических количествах // Природа. 2009. №5. С.84—85.

и северо-восточную ориентацию смещений. Величина годовых смещений в первой группе (от пункта Курай до пункта Усть-Кан) составляла от 0,5 до 3 мм/год. Во второй группе (от пункта Укок через Чаган-Узун до пункта Язула) скорости смещений достигали максимальных для всей изучаемой территории величин — 5–13 мм/год. Вертикальные смещения по абсолютному большинству пунктов составили 1–4 мм/год с аномальной сменой знака движений в зоне будущего эпицентра. Авторы делают вывод, что на юге Горного Алтая резко падает скорость смещения к северу. Этот дефицит смещений на север позволил дать приближенную оценку накопленных в зоне будущего землетрясения подвижек — около 2 м. Северо-северо-восточное смещение, прослеживаемое от Тибета—Гималаев через Западный Китай и Западную Монголию, распадается на северо-западное, наблюдаемое затем в западной части Горного Алтая и Юго-Восточном Казахстане, и северо-восточное, переходящее в восточное (Тува, Монголия, западная часть Байкальской рифтовой зоны).

Таким образом, в зоне эпицентра будущего Чуйского землетрясения произошло разделение смещений, при этом сдвиговая компонента достигла максимума. Анализ измерений, относящихся к периоду после землетрясения, позволил выделить значительные косейсмические смещения (2003–2004). Ближайшие к сейсмическому разрыву пункты оказались на расстоянии 15–35 км по обеим сторонам разрыва. Зарегистрировано правостороннее смещение эпицентральной области (на пунктах измерений оно составляло до 0,35 м).

Характер распределения смещений после землетрясения и особенности поля скоростей до этого события указывают, по мнению авторов, на предпочтительность модели упругой отдачи для описания смещений в эпицентральной зоне. Экспериментальные результаты и двумерные модельные соотношения позволили определить смещения на линии разрыва (2 м), глу-

бину разрыва (от 5 до 15 км в разных частях эпицентральной зоны) и оценить сдвиговые напряжения в 4 МПа. При землетрясениях сдвигового типа магнитудой $M > 7$ смещения земной коры охватывают территорию в сотни километров. Скорости постсейсмических смещений (2004–2007) снизились до 3–9 мм/год, при этом сохранился правосторонний сдвиг. Анализ моделей коры позволяет, по мнению авторов, предпочесть двухслойную модель типа упруго-хрупкая верхняя кора и вязко-упругая нижняя кора (вязкость нижней коры оценена в $7 \cdot 10^{20}$ Па·с). Период релаксации напряжений для Горного Алтая определен в 300 лет.

Данные за весь период измерений (при исключении зоны, связанной с Чуйским землетрясением) показывают следующую предварительную картину современных тектонических движений Горного Алтая: смещение центральной и западной частей Горного Алтая на северо-запад при годовых скоростях горизонтальных смещений около 2 мм. Открытым остается вопрос о вероятности смещения активного сейсмического процесса с юга Горного Алтая на север или восток региона.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13–17 октября 2008 г. С.315–317.

Вулканология

Подводный вулкан на суше

Африканский вулкан Ол-Доиньо-Ленгаи, расположенный на территории Танзании, весьма необычен. Из тысяч действующих на Земле вулканов только он извергает черную маловязкую лаву вместо обычной густой и раскаленной докрасна. Незаурядность этого вулкана озадачивала ученых начиная с 1960-х годов, и вот теперь вулканологи нашли этому объяснение: его необычность связана с местоположением на континенте.

Африканский материк раскалывается. Вся та его часть, что находится к востоку от 6000-километрового разлома земной ко-

ры — Великой рифтовой долины, медленно перемещается в сторону Индийского океана. Сама долина понемногу опускается и через миллионы лет окажется на морском дне. Как раз в центре этой долины и находится классический конус вулкана Ол-Доиньо-Ленгаи, вздымающийся на высоту почти 3 тыс. м. Однако вытекающую из него лаву никак нельзя назвать классической. Это — карбонатитовая лава, почти не содержащая силикатов, которые (если их много) и придают лаве привычный глазу раскаленно-огненный вид. По сравнению с силикатными расплавами, температура которых достигает 1000°C и выше, карбонатитовая лава намного холоднее — около 500°C. К тому же она течет легко и быстро, скорее подобно воде. Исходно карбонатиты черные, но под действием поверхностных вод они вскоре светлеют.

Необычные характеристики этого вулкана подробнее решили изучить Т.Фишер (T.Fisher; Университет штата Нью-Мексико в Альбукерке, США) и его коллеги. Особенно их заинтересовал состав газа, который высачивается из множества мелких расщелин, покрывающих конус вулкана. Обычно вулканические фумаролы крупнее, и выходящие из них газы на поверхности быстро смешиваются с воздухом. Анализ взятых проб показал, что в них содержатся углекислый газ, гелий, азот и аргон — иначе говоря, газ из расщелин Ол-Доиньо-Ленгаи по своему составу неотличим от газов, выбрасываемых из подводных вулканов и сипов. Очевидно, что вулканизм этого региона приобретает черты, характерные для процессов, протекающих на дне океана. Именно в этом направлении и развивается Великая рифтовая долина.

Отвечая на вопрос, почему вулкан изливает текучую лаву, Фишер объясняет это малой мощностью земной коры под вулканом. Вероятно, карбонатит скапливается в небольших по объему очагах, находящихся в самой верхней части мантии, непосредственно под достаточно тонкой корой, откуда газ может легко выйти на поверх-

ность. Однако это временное явление: во-первых, Ол-Доиньо-Ленгаи — слишком крупный вулкан, чтобы вся его лава целиком состояла из карбонатита, который образует довольно мягкую и легко выветривающуюся породу; во-вторых, исследования показали, что вулкан уже переключается с извержений карбонатита на более обычную, вязкую, лаву.

Science Now Daily News. 6 May 2009 (Великобритания).

Климатология

Пресноводный папоротник изменил климат

В середине эоценового периода, 49—47 млн лет назад, в Северном Ледовитом океане произошло массовое размножение пресноводного водяного папоротника азоллы (*Azolla*), что, возможно, стало причиной существенного изменения климата на всей Земле от почти повсеместно субтропического до значительно более холодного и похожего на современный. Впрочем, по-настоящему резкое похолодание произошло существенно позднее, в конце эоцена (33.9 млн лет назад).

В донных осадках по всему арктическому бассейну можно выделить толщу мощностью не менее 8 м, состоящую из чередующихся прослоев: кремнистых илов, в образовании которых участвовал планктон, осаждавшийся на дно, и более тонких и темных прослоев толщиной около 1 мм, включающих окаменевшие остатки азоллы. По этим прослоям можно отождествлять синхронные горизонты колонок грунта, полученных в разных точках арктического бассейна. На основе палинологического анализа и калибровки палеомагнитным методом высокого разрешения можно заключить, что эта толща формировалась на протяжении 800 тыс. лет; по времени это совпадает с периодом катастрофического снижения в атмосфере содержания CO₂.

По морфологии окаменевшие папоротники неотличимы от со-

временных — мелких плавающих пресноводных растений с ветвящимися корневищами. Быстро разрастаясь, они могут плотной массой покрыть поверхность всего водоема. Благодаря симбиозу этих растений с азотфиксирующей цианобактерией *Anabaena azollae* они способны усваивать атмосферный азот, причем в таких количествах, что даже в современных условиях накапливается около 0.25 кг органического азота на 1 м²/год; в пересчете на углерод это составляет 1.5 кг на 1 м²/год. В благоприятных же условиях раннего эоцена — умеренно теплом климате полярных районов и 20 ч ежедневного светлого времени в летние периоды — это растение способно было удваивать биомассу за два-три дня.

В те времена Северный Ледовитый океан был почти полностью изолирован от Мирового океана, а значит исключалось перемешивание вод, в результате чего в этой акватории образовалась стратифицированная водная толща наподобие существующей в современном Черном море. Высокие температуры и сильные ветры вызывали усиленное испарение с поверхности океана, повышавшее его соленость. Впадавшие же в океан реки несли благодаря обилию дождей большой объем пресной воды, которая поверх плотной морской образовывала тонкий поверхностный слой. Обогащенный благодаря речному стоку питательными веществами, этот поверхностный слой был достаточен для активного размножения азоллы. Высокие концентрации углекислого газа и азота в атмосфере еще более ускоряли рост водяного папоротника.

Однако одного лишь бурного роста азоллы недостаточно, чтобы вызвать геологически значимые изменения; для долговременного изъятия CO₂ из атмосферы необходимо, чтобы образовавшаяся биомасса не вовлекалась повторно в биотический кругооборот. На дне арктического океана в анаэробных условиях активность бактерий, вызывающих разложение органики, была подавлена, и отмершая био-

масса не гнила, а подвергалась захоронению и окаменеваала.

Поскольку бурное развитие азоллы происходило в Северном полушарии каждое лето на площади 4 млн км² в течение 800 тыс. лет, то даже по самым скромным оценкам¹ из атмосферы было изъято и захоронено в донных осадках более чем достаточное количество CO₂, чтобы объяснить его существенную убыль в атмосфере за указанный период благодаря одному лишь «цветению» азоллы. Такое снижение уровня CO₂ послужило толчком к глобальному похолоданию, продолжавшемуся миллионы лет; среднегодовая поверхностная температура арктических вод упала с 13°C до современного значения — минус 9°C; прочие области земного шара претерпели аналогичные изменения. Быстрое по геологическим меркам снижение температуры в середине эоценового периода (между 49 и 47 млн лет назад), который включает и «цветение» азоллы, подтверждается повсеместным присутствием в арктических донных отложениях неокатанных глыб и валунов — они свидетельствуют о существовании сползших в океан ледников, при вытаивании которых эти камни падали на дно. Все это происходило на фоне постепенного, долговременного похолодания, но лишь с 15 млн лет назад появляются свидетельства обширного оледенения суши, прилегающей к Северному Ледовитому океану.

Как известно, захоронение большого количества органического вещества создает потенциально нефтеносные породы, и поиски горючих ископаемых на шельфе Северного Ледовитого океана в значительной степени могут быть связаны с остатками азоллы. Однако надо иметь в виду, что использование такого ископаемого топлива, а значит возвращение в атмосферу захороненного углерода, может обратить вспять изменение климата, вызванное «цветением» азоллы в прошлом.

© Чудов С.В.

Москва

¹ Brinkhuis H. et al. // Nature. 2006. № 441. P.606—609.

«Разыскание древностей посредством земляных раскопок»

В феврале 2009 г. исполнилось 150 лет со дня учреждения Императорской Археологической комиссии (ИАК). И.Л.Тихонов (Санкт-Петербургский университет), выступив на II (XVIII) Всероссийском археологическом съезде в Суздале с докладом, озаглавленным «Императорская Археологическая комиссия — “придворная контора по добыванию древностей” или общероссийский центр археологии?», рассказал, как с созданием ИАК завершился длительный процесс организации системы государственного патронажа отечественной археологии, только начинающей свое становление.

Еще в 1830-е годы президент Академии художеств А.Н.Оленин предложил создать правительственный орган, который взял бы под контроль все вопросы, связанные с проведением археологических раскопок. Позже руководство этой областью сосредоточилось в Министерстве внутренних дел и Кабинете Его Императорского величества. В 1840-е — первой половине 1850-х годов специально созданная «группа чиновников по археологической части» провела серию исследований в Северном Причерноморье, Поволжье, Центральной России — по результатам этих раскопок было издано «Извлечение из всеподданнейшего отчета об археологических разысканиях в 1853 г.» — прообраз будущих Отчетов ИАК.

В проекте положения об ИАК его автор С.Г.Строганов стремился придать комиссии статус центрального государственного органа, главная задача которого состоит в «разыскании древностей посредством земляных раскопок» (этим комиссия должна была отличаться от археологических обществ, которые трактовали археологию очень широко — как изучение любых памятников старины, в том числе и невещественных), а раскопки на землях казенных

и общественных должны были, отмечалось в проекте, производиться «не иначе, как с разрешения председателя комиссии». Однако в окончательном варианте эти формулировки были заменены на очень расплывчатые, не дававшие комиссии реальных полномочий для выполнения намеченных задач. Созданное в 1864 г. С.А.Уваровым Московское археологическое общество (МАО) постоянно пыталось перехватить инициативу в деле изучения и особенно охраны памятников древности, фактически игнорируя сам факт существования ИАК.

Полагая, что главная задача ИАК — пополнение коллекций Эрмитажа, ее сотрудники вели раскопки преимущественно на некрополях в окрестности Керчи и на Таманском п-ове, а по их завершении и доставлении находок в Петербург считали свои функции выполненными и никакой научной обработки материалов не проводили. Обработкой и публикацией почти всего археологического материала, добытого на юге России, занимался в основном академик Л.Э.Стефани, который с 1851 г. стал хранителем отделения классических древностей Императорского Эрмитажа, а с 1860 г. — членом-корреспондентом ИАК. Связи с Эрмитажем еще более упрочились, когда председателем ИАК был назначен А.А.Васильчиков — его директор.

Новый этап в деятельности ИАК начался с 1886 г., когда ее председателем был назначен граф А.А.Бобринский: он сумел добиться издания Высочайшего повеления от 11 марта 1889 г., предоставлявшего комиссии «исключительное право производства и разрешения с археологической целью раскопок в Империи на землях казенных, принадлежавших разным установлениям, и общественных», а также контроль над охраной и реставрацией монументальных памятников древности. Разрешение на раскопки стало выдаваться исключительно для исследований с научными целями. Эти меры превращали ИАК в действительно центральное го-

сударственное учреждение российской археологии.

Благодаря тому, что Бобринскому удалось добиться значительного увеличения финансирования, начались масштабные раскопки в Херсонесе и Ольвии. К началу XX в. годовой бюджет комиссии достиг 57 915 руб., из которых 4 тыс. было выделено на раскопки в Ольвии, 6 тыс. — в Херсонесе, 4 тыс. — в Керчи, 12 тыс. — на остальные раскопки, 3240 — на приобретение древностей, 7 тыс. — на издания. Существенно пополнился кадровый состав ИАК: если в начале 1880-х годов весь коллектив состоял из двух членов и трех чиновников, то в конце десятилетия членами-корреспондентами ИАК стали В.В.Стасов, Ю.Б.Иверсен, Д.Я.Самоковасов, Н.И.Веселовский, И.А.Лопатин, А.С.Лаппо-Данилевский и многие другие.

В 1890-е годы при ИАК был учрежден реставрационный отдел, вокруг которого группировались лучшие архитекторы, художники, искусствоведы, реставраторы. В 1898 г. ИАК выступила с инициативой создания при Министерстве внутренних дел комиссии для выработки положения об охране памятников старины. Комиссия предлагала объявить археологические памятники, находящиеся на частных землях, собственностью государства.

Заметно возросла издательская деятельность ИАК: возобновилось регулярное издание «Отчетов», в 1901 г. начали издаваться «Известия Императорской Археологической комиссии», ставшие по-настоящему научным журналом.

К 150-летию ИАК была выпущена коллективная монография, представляющая собой всестороннее историографическое исследование, а также целая серия публикаций, в которых деятельность ИАК по налаживанию системы научных исследований и контролю за раскопками археологических памятников в Российской империи оценена, как отмечает И.Л.Тихонов, весьма высоко.

Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. 2008. Т. III. С.244–246 (Россия).

Открывший мир, в Европе неизвестный

М.Ю.Зубрева
Москва

В предисловии к первому тому сочинений В.К.Арсеньева на немецком языке (Берлин, 1924 г.) знаменитый норвежец Ф.Нансен — путешественник и лауреат Нобелевской премии мира — написал: «Арсеньев открыл мир, доселе в Европе неизвестный». Пожалуй, и книга Б.В.Сумашедова открывает в какой-то мере мир, мир Арсеньева — малоизвестные факты его жизни, приближающие нас к событиям, происходившим на Дальнем Востоке в прошлом веке.

В 1900 г. уроженец Санкт-Петербурга 28-летний поручик Владимир Клавдиевич Арсеньев прибыл во Владивосток для прохождения службы в пехотный полк. И остался на Дальнем Востоке до конца жизни. В 1930 г., менее чем за два месяца до кончины, он писал в письме: «За время Революции и Гражданской войны столько было насилий, столько пролилось крови, что у меня что-то надломилось в душе. Я все больше чувствую свое одиночество... Мое желание закончить разработку научных материалов и уйти, уйти подальше, уйти совсем — к Дерсу!».

Думается, что старшему и среднему поколению читателей, знакомых с Арсеньевым — исследователем, писателем и этнографом — по его романтическим книгам, популярным в довоенные и послевоенные годы, и с любимым героем его самых известных книг — проводником Дерсу Узалой, — эти грустные слова покажутся неожиданными. Да и много ли мы знаем об

атмосфере тех, уже далеких, времен, особенно на далеком Дальнем Востоке? Что же касается молодых, мой непрофессиональный опрос нескольких знакомых москвичей показал, что они не знают почти ничего и о самом Арсеньеве.

Борис Владимирович Сумашедов, журналист, работавший на Дальнем Востоке и уроженец г.Дальнегорска, что в Приморском крае, написал свою книгу в жанре художественно-документальной прозы. В то же время это детальная биография Арсеньева, в которую вошли новые документы и новейшая история этого края через судьбу главного героя — кумира юности автора.

Книга начинается с предисловия, в котором изложены трагические события последних месяцев и дней Арсеньева. Его смерть 4 сентября 1930 г., торжественные похороны, многочисленные соболезнования от трудовых коллективов, разных людей и организаций (в том числе от германского и японского консулов), некрологи, письма. В них Арсеньева называли выдающимся, великим, известным и т.п. Похоронили Арсеньева во Владивостоке, на Эгершельдском кладбище у Амурского залива. Провожала путешественника в последний путь большая толпа. По свидетельству первой жены Арсеньева, в городе поговаривали, что закаленный в походах Арсеньев не мог умереть от простуды (поставленный врачами диагноз — крупозное воспаление легких). Нашептывали о трех версиях его смерти: отравили



Сумашедов Б.В. РАСПЯТЫЙ В ДЕЛЯХ. ВЛАДИМИР АРСЕНЬЕВ. СУДЬБА СТРАННИКА.

М.: Известия, 2008. 496 с.

© Зубрева М.Ю., 2009

японцы, потому что отказался стать их шпионом, по той же причине — немцы, или чекисты, поскольку он был белым полковником.

Вскоре во владивостокской газете «Красное знамя», коллектив которой недавно скорбел по своему корреспонденту и писателю Арсеньеву, появилась статья некоего Г.Ефимова «В.К.Арсеньев как выразитель идеи великодержавного шовинизма». 31 марта 1934 г. чекисты подвергли обыску квартиру Арсеньевых, опечатали архив исследователя, арестовали его вторую жену, Маргариту Николаевну, и отправили ее в Хабаровск (10-летняя дочь Наташа осталась с родственниками мужа). Арсеньеву обвиняли в участии в шпионской контрреволюционной организации в пользу Японии и Германии, которой якобы руководил... Владимир Клавдиевич. В 1938 г. она была расстреляна. Трагична и судьба дочери: несколько арестов, болезни, ранняя смерть.

Военную биографию Арсеньева долгое время обходили молчанием. В 1881 г., когда Владимиру исполнилось 10 лет, он поступил в 5-ю петербургскую гимназию, но не закончив ее по непонятным причинам, ушел в армию. Прослужив два года рядовым пехотинцем в Санкт-Петербурге, Арсеньев попал в юнкерское училище, окончив которое, был послан в Польшу. Затем по собственному желанию отправился на Дальний Восток, где в октябре 1917 г. дослужился до подполковника. Еще в начале века он овладел одной из опаснейших и секретных профессий — разведчика. Он был разведчиком в годы Русско-японской войны, занимался военно-разведывательной деятельностью во всех своих дальневосточных экспедициях. Из военной биографии выросла и научная. Когда в 1914 г. вышел этнографический труд Арсеньева «Китайцы в Уссурийском крае» (недавно он переиздан), коллеги говори-

ли автору: «Хоть ты и кончил только юнкерское училище, тебе можно теперь докторскую степень присвоить».

Впоследствии круг научных интересов Арсеньева чрезвычайно расширился — география, археология, краеведение, литература, топография, история, экономика, геология, метеорология, ботаника, почвоведение, охотоведение, спелеология, медицина, педагогика, фотография.

Книга Сумашедова состоит из 10 глав. В первой из них, названной автором «Корни», идет речь о предках Арсеньева. Его прадед, немец по фамилии Гоппмайер, живший в Голландии, был вывезен в Россию Петром Великим. Дед Теодор (Федор) был управляющим имением в Тверской губернии. Его сын Клавдий, матерью которого была крепостная Аграфена, получил фамилию Арсеньев, поскольку родители его тогда еще были не венчаны. Дядя написал ребенка под такой фамилией, поскольку мать в церковь сопровождал дворовый человек Арсений Тимофеев. Клавдий начал работать на железной дороге в Петербурге, где со временем стал чиновником, а потом настоящим железнодорожным генералом — начальником Московской железной дороги, почетным гражданином Санкт-Петербурга. У Клавдия Федоровича и его жены Руфины Егоровны было много детей. У большинства из них трагическая судьба.

Долго прожил только младший сын Александр. Старший, Анатолий, — моряк — ушел из дома первым, не достигнув совершеннолетия, юнгой попал на английский парусный фрегат, потом плавал на разных судах и в разных морях. В 1928 г. как капитан сухогруза побывал на Дальнем Востоке, где судно пришвартовалось в гавани Золотой Рог (Владивосток). Здесь произошла неожиданная встреча Анатолия с Владимиром — братья не виделись несколько деся-

тилетий и даже сначала не узнали друг друга. Потом старший брат работал в пароходствах — Тихоокеанском и Черноморском, откуда был взят под стражу в 1938 г. и тут же расстрелян как враг народа.

Родители Арсеньева, брат Клавдий, сестры Ольга и Лидия вместе со своими семьями погибли в 1918 г. в собственном доме от рук бандитов на хуторе Дубовщина на Украине. Этому трагическому событию посвящена целая глава в книге.

Немало места занимает история знакомства Арсеньева с гольдом Дерсу Узала (Дерчу Очжал), ставшим проводником и героем книг путешественника «По Уссурийскому краю (Дерсу Узала)», «Путешествие в горную область Сихотэ-Алинь». Исследователи творчества Арсеньева много спорили о том, был ли он литературным образом или реальным человеком. Рассуждает об этом и автор новой книги, приводя неизвестные факты.

История жизни Арсеньева столь необычна и увлекательна, что книга о нем читается с большим интересом. Ценным приложением к ней служат основные даты жизни и деятельности Арсеньева, список трудов, вышедших при его жизни (56 названий) и после 1930 г. (15 названий). Перечень использованных в книге источников весьма обширен — около 100. Используются архивные материалы государственных и частных архивов. Однако это не значит, что в книге все безупречно, например, некоторые значимые научные связи выпали из поля зрения автора.

Так, известный полярный исследователь Г.А.Ушаков в своих воспоминаниях писал о своей встрече с Арсеньевым в Хабаровске в 1916 г.: «Случай свел меня с интереснейшим человеком, самым значительным из всех тех, кого я видел до сих пор. Пятнадцати лет я оказался в роли полевого рабочего, или, скорее, мальчика на побегушках в отряде Арсеньева... Арсе-

ньев вытащил меня из хабаровского ночлежного дома». Под влиянием Арсеньева и по его рекомендации Ушаков возглавил экспедицию на о.Врангеля в 1926 г. Это была знаменательная встреча, когда один исследователь передавал эстафету другому. С этого времени нача-

лась их дружба, которая продолжалась до смерти Арсеньева (Ушаков Г.А. Остров метелей. По нехоженой земле. СПб., 2001. С.9—11). Но об этом в книге нет ни слова.

Как обычно, в книге, изданной на собственные средства, когда на многом экономят, име-

ется налет самодеятельности, попадают ошибки, обложка выглядит аляповато, хоть и повторяет прижизненное издание 1926 г., есть повторы и явные длинноты. Но стоит ли упрекать в этом автора? Слышала, что он ищет возможности повторить издание с учетом замечаний. ■

Астрофизика

ЗВЕЗДЫ / Ред.-сост. В.Г.Сурдин. М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. 428 с. (Астрономия и астрофизика.)

Это третья книга из серии «Астрономия и астрофизика». Она расскажет читателю, что всего лишь 30 лет назад считалось, будто 97% вещества в нашей Галактике сосредоточено в звездах, а у других галактик «звездная субстанция» составляет более 99% их массы. Иначе говоря, совсем недавно думали, что большая часть вещества Вселенной сосредоточена в звездах.

За прошедшие годы представления астрономов о составе Вселенной коренным образом изменились. Теперь нет сомнений, что около 74% средней плотности энергии-массы во Вселенной принадлежит неведомой антигравитирующей сущности, условно называемой темной энергией, и только 0.5% средней плотности Вселенной сосредоточено в звездах.

Что такое созвездие, сколько звезд на небе, каковы их характеристики и классификация, что такое «модель звезды»? Рассказывается о пульсации звезд, планетарных туманностях, «зоопарке» тесных двойных звезд, вспышках новых и сверхновых. Даже этот разрозненный перечень показывает, как много сведений вошло в книгу. Она четко систематизирована и, что самое главное,

отражает современный уровень науки о звездах. Основное внимание уделено их природе: внутреннему строению, источникам энергии, происхождению и эволюции.

Физика. История науки

АКАДЕМИК ЛЕВ АНДРЕЕВИЧ АРЦИМОВИЧ (воспоминания, статьи, документы). М.: Физматлит, 2009. 416 с.

Издание приурочено к 100-летию со дня рождения выдающегося физика — экспериментатора и теоретика, организатора науки, общественного деятеля и педагога.

Это коллективный портрет, в создание которого внесли свой вклад более 40 человек. Перед читателем проходят первые годы плодотворной работы Льва Андреевича в Ленинградском физтехе, его исследования 40—50-х годов, проводимые в Институте атомной энергии им.И.В.Курчатова. В 1953 г. он получил Сталинскую премию 1-й степени за цикл работ по электромагнитному разделению изотопов. В руководимом им отделе плазменных исследований этого института были выполнены основополагающие работы по созданию управляемого термоядерного синтеза. Он закончил свою жизнь в звании Героя Социалистического Труда, четырежды награжденным орденом Ленина.

В книгу вошли воспоминания о Льве Андреевиче его

родственников, друзей, коллег и учеников, написанные им популярные статьи по различным научным, политическим и общественным вопросам.

За основу публикации взято второе издание «Воспоминаний» под редакцией академика Б.Б.Кадомцева (М., 1988). Новая книга дополнена многими воспоминаниями, фотографиями и документами, ставшими доступными в настоящее время. В результате ее объем увеличился вдвое, о чем не пожалеет читатель, интересующийся историей развития науки.

Биология. История науки

Екатерина Каликинская. СТРАНА ББС. М.: Авторская академия, Товарищество научных изданий КМК, 2008. 534 с.

ББС — это Беломорская биологическая станция МГУ, основанная в конце 30-х годов силами кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета. Здесь теперь проходят летнюю практику будущие зоологи, физиологи, эмбриологи и студенты других специальностей.

Книга документальна, в ней талантливо объединены письма, воспоминания, официальные бумаги, относящиеся к разным годам. Читателю предстоит увидеть трудности и энтузиазм строительства, романтику научных исследований, романтику дружбы.

«Меня главным образом привлекала Беломорская станция как точка пересечения разных судеб, — пишет автор, — ее преломление в характерах, мыслях и чувствах тех нескольких тысяч человек, которые посетили ее и навсегда отвели ей место в своем сердце. Поэтому я включила в книгу воспоминания большого числа людей, побывавших на биостанции в разные годы ее развития. Их впечатления, записанные на диктофон, расшифрованные на бумаге и «разложенные по полочкам» разных тем и глав, вместе с документами той эпохи, цитатами из статей и книг и составили содержание «Страны ББС»».

Биология

Н.В.Кокшайский. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 410 с.

Николай Валентинович Кокшайский (1931—2000) — замечательный ученый-зоолог, получивший международное признание в первую очередь своими трудами по локомоции (передвижению) животных. Его работы отличает редкое в наши дни сочетание тонких натуралистических наблюдений, экспериментальных исследований и глубокого физического анализа биологических фактов.

Он стал впервые известен благодаря своим исследованиям полета птиц, которые впоследствии переросли в изучение общих закономерностей локомоции организмов в сплошных средах.

Кокшайский был прежде всего натуралистом, и это его качество накладывало отпечаток на исследования по морфологии, биомеханике и поведению, а также на работы, посвященные эволюционным аспектам взаимоотношений между структурой и функциями организмов.

Книга дает представление о многообразии его творчества — от наблюдений за ночевкой птиц (ополовничков) под снегом и выявления причин гибели молодых цапель на деревьях до глубоких исследований и обобщений, связанных с аэро- и гидродинамикой — с полетом и плаванием животных. В заключительную часть вошли статьи, посвященные соотношению формы и функции в эволюции.

Палеонтология. История науки

И.В.Бодылевская. АКАДЕМИК А.А.БОРИСЯК И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ В ГОДЫ ВОЙНЫ. 1941—1943 гг. / Под ред. А.Ю.Розанова, А.В.Лопатина. М.: ПИН РАН, 2008. 110 с.

В основе книги лежит переписка создателя и первого директора Палеонтологического института академика Алексея Алексеевича Борисяка с коллегами в годы Великой Отечественной войны. Случилось так, что обычная коллективная эвакуация не состоялась, и они, можно сказать, неприканные и разбросанные группами по южным и восточным районам страны, переживали исключительные материальные трудности. Но при этом их не покидал поразительный для создательский энтузиазм. Они писали Борисяку о своих делах и мытарствах из Алма-Аты, Свердловска, Соликамска, Чкалова... На каждом из писем — печать уважения к своему учителю.

С именем Борисяка связан поворот палеонтологических исследований в сторону биологии, он стал создателем отечественной эволюционной палеонтологии, вывел свою науку на мировой уровень и, как говорят его последователи, на десятки лет опередил сов-

ременников в понимании места палеонтологии в естествознании, ее роли в геологических и биологических изысканиях.

В 1931—1935 гг. Алексей Алексеевич Борисяк был главным редактором «Природы».

Краеведение

В.А.Кривцов и др. ПРИРОДА РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ: Монография / Под ред. В.А.Кривцова. Рязань: Ряз. гос. ун-т им.С.А.Есенина, 2008. 407 с.

Появлению этой коллективной монографии предшествовал многолетний труд ученых — геологов, географов и биологов. В 2003 г. в издательстве Рязанского государственного педагогического университета им.С.А.Есенина (РГПУ) небольшим тиражом вышел в свет первый вариант книги «Природа Рязанской области». В 2004 г. в издательстве РГПУ вышла еще одна книга — «Природа Рязанского края».

За годы, прошедшие с того времени, опубликованы десятки статей, содержащих новую информацию, а также ряд фундаментальных монографий, адресованных прежде всего различным специалистам. В новой книге «Природа Рязанской области» дана комплексная характеристика природы региона с учетом новых исследований и наблюдений. Рассматриваются геологическое строение и развитие территории; формирование рельефа; региональные климатические и гидрологические особенности; тенденции изменения климата, растительного и животного мира. В заключительной главе рассказывается о создании сети особо охраняемых природных территорий.

Книга рассчитана на студентов, учителей и всех, кто задумывается о настоящем и будущем Рязанского края.

БЫВАЮТ СТРАННЫЕ СБЛИЖЕНИЯ...

Встречи с забытым

Николай Александрович Шилов постоянно упоминается в очерке Б.С.Стечкина, составляющем первую часть публикации. Собственно, весь сюжет обеих очень разных слагаемых закручен вокруг поездки Шилова к Эрнесту Резерфорду, в которой по ходу дела появляется много интересных людей. Оказавшись в Манчестере и впечатлившись встречей с Резерфордом, работой его лаборатории и особенностями местного университетского колорита, Шилов в мае 1914 г. отправляет в редакцию «Природы» очерк в жанре письма, весьма оперативно напечатанный в №7—8 за тот же год. Необходимо сказать, что профессор Н.А.Шилов, ученик Н.Д.Зелинского, был весьма известным физико-химиком, одним из основоположников теории сопряженных реакций, современной теории сорбции газов. В описываемый период он состоял профессором Московского высшего технического училища и одновременно Московского коммерческого института. С первых шагов «Природы» и далее на протяжении многих лет он входил в редакционный и авторский актив нашего журнала.

Повторяя сегодня его давнюю публикацию, мы как бы завершаем тему, которая берет начало в заметках Б.С.Стечкина «Подходит крейсер — неизвестно какой».

Подходит крейсер — неизвестно какой

Из фотографической семейной хроники

Б.С.Стечкин

Моя бабушка, Ирина Николаевна Стечкина, не записывала свои жизненные воспоминания, но иногда очень живо их представляла нам — внукам. Об одном из таких эпизодов поведаю здесь, используя, конечно, не только ее рассказ, но и кое-что из того, что удалось собрать по теме.

Как-то в начале войны (1914 года) пожаловала с визитом Наталия Сергеевна Брасова к Вере Николаевне Шиловой (мама Ирины Николаевны), и они за чаем вспоминали последнее предвоенное лето. На стол выложили много фотографичес-

ких карточек, поставили специальный аппарат для просмотра стереоскопических снимков — стереоскоп — и живо обсуждали недавнее и такое яркое...

История морганатического брака Михаила Александровича Романова (1878—1918), младшего брата царя Николая II, неоднократно описывалась. Его избранница — дочь адвоката Шереметьевского, до Михаила дважды была замужем (за купцом Мамонтовым и за ротмистром Вульффертом) и уже имела двоих детей. Но в 1910 г. от ее связи с Михаилом родился их сын Георгий (1910—1930, погиб во Франции в автокатастрофе), и в 1912 г. Михаил оформил

свой брак с графиней Брасовой. Титул графини Брасовой Наталия Сергеевна получила по названию одного из имений великого князя. По донесению тайной полиции, венчание состоялось в сербской церкви св.Саввы в Вене 30 октября 1912 г. При этом в записи было указано следующее: «*Михаил Александрович, русский Великий князь, род. 22 ноября 1878 года в С.-Петербурге, и дворянка Наталия Брасова, род. 7 июня 1880 года в Резова (?) близ Москвы*»*.

* Здесь и далее (пусть простит меня читатель) цитаты привожу без указания точных библиографических данных, так как выписки, за точность которых ручаюсь, делались довольно давно.



Замок Неборс в Англии. Это и последующие фото сделаны участниками описанных событий и хранятся в семье Стечкиных—Шиловых. Публикуются впервые.

Николай и многие члены царской фамилии были недовольны таким браком, и Михаилу Александровичу с супругой возбранялось возвращение в Россию. Лето 1914 г. они проводили в Англии, последовательно живя в двух замках. Вообще Михаил

был в большой степени англоманом и даже имел личным секретарем англичанина Н.Н.Джонсона, очень ему преданного человека. Свою преданность Джонсон сохранил до могилы — он был убит вместе с Михаилом в июне 1918 г. близ Перми.

Наталья Сергеевна была очень интересной, своеобразной женщиной. Прочитую французского посла Мориса Палеолога: *«Она прелестна. Ее туалет свидетельствует о простом, индивидуальном и утонченном вкусе. Из-под распахнутой шиншиловой шубки видно платье из серебристо-серого шелка, отделанное кружевами. Шапочка светлого меха очень идет к ее пепельным волосам. Выражение лица гордое и чистое; черты прелестны; глаза бархатистые. На шее, при свете зажженной люстры, сверкает ожерелье из чудного жемчуга... Малейшее ее движение отдает медленной, волнистой, нежнейшей грацией»*. Это отмечали многие ее знавшие. Примечательно, что на фотографиях выглядит она по-разному. Выражения ее лица представляли весьма широкую гамму чувств и настроений до тонких оттенков, но всегда доминирует ее природное качество — женственность.

Образования она была тогдашнему обыкновенного, дамско-дворянско-купеческого.



Ирина Николаевна Шилова (в замужестве Стечкина) на теннисном корте. Справа — она же в парке замка.



Вера Николаевна Шилова, мать Ирины Николаевны, в одной из комнат замка.



Столовая.



В парке на прогулке. Слева — Вера Николаевна, последние в группе — Николай Александрович с дочерью.



Там же, в другой день: Ирина Николаевна и Вера Николаевна.

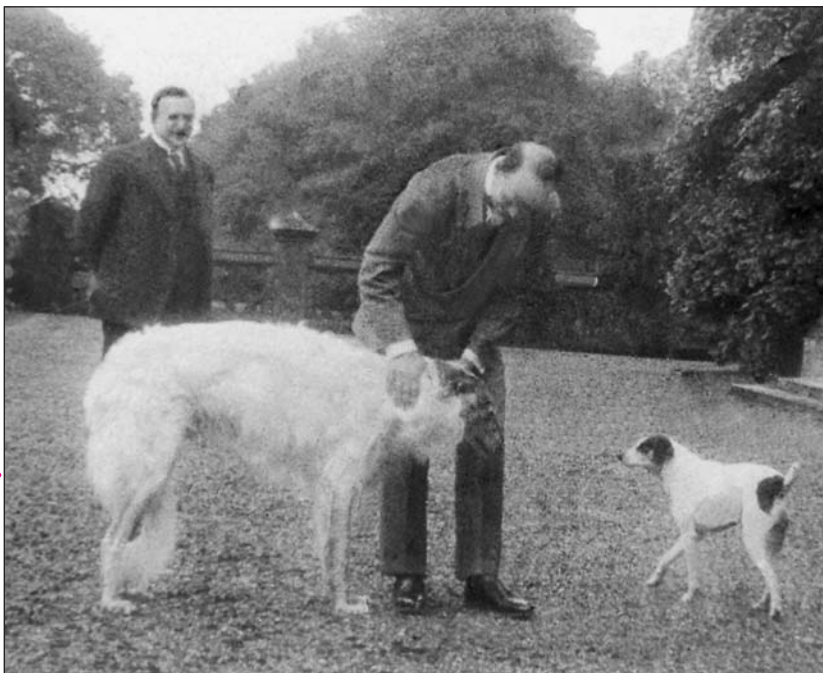
Закончила какой-то пансион благородных девиц, где, в частности, познакомилась и сдружилась с моей прабабушкой — Верой Николаевной Шиловой (1875—1942), урожденной Абрикосовой, из семьи известных кондитерских фабрикантов. Вера Николаевна вышла замуж за профессора Николая Александровича Шилова (1872—1930),

и в 1898 г. у них родилась дочь — Ирина (1898—1958), впоследствии ставшая женой моего деда — академика Бориса Сергеевича Стечкина (1891—1969).

Так вот, в то лето 1914 г. удалось соединить приятное с полезным. Николай Александрович Шиллов, до того уже знакомый с Эрнестом Резерфордом, отправился к нему в Манчестер,

а Вера Николаевна с дочерью Ириной получили приглашение от Наталии Сергеевны разделить их с Михаилом Александровичем английское уединение. Фотографии того лета хорошо показывают их нескудное жите-бытие в английских захолустьях (Knebworth House).

И Михаил Александрович, и Николай Александрович, оба



Михаил Александрович Романов на лужайке с собаками. Сзади его личный секретарь Н.Н.Джонсон.



Наталья Сергеевна и Ирина Николаевна в Лондоне.

были страстными фотографами, причем последний делал стереографические карточки на стекле. Осталась роскошная коллекция стереофотографий Шилова. Здесь мы приводим как распечатки с его стереофотографий, так и репродукции фотографий Михаила Александровича и Джонсона, сохранившиеся в нашем семейном архиве.

В записных книжках Шилова есть несколько емких характеристик Резерфорда и его лаборатории:

«Резерфорд весьма ратует за чистоту и аккуратность всякого эксперимента, но после неудачного никого не ругает, лишь произносит одно слово — Sorry».

Самым важным предметом командировки прадеда была закупка оборудования по образцу лаборатории Резерфорда, на что были выделены специальные государственные средства, по-видимому, немалые. Сам Резерфорд, разумеется, всемерно способствовал и помогал делать закупки. Оборудование было погружено на транспорт и мо-

рем отправлено в Россию. Но не дошло — транспорт был торпедирован немецкими субмаринами и потоплен — началась Первая мировая война. Так, едва успев начаться, война ударила по российской науке. Теперь это совсем почти неизвестный эпизод истории науки, что отчасти и побудило меня писать о нем.

Стали собираться домой. Михаил по дипломатическим каналам испросил разрешение царя Николая вернуться и защищать Родину. Разрешение было получено, и все вместе отправились «северным коридором» через Голландию, Норвегию, Швецию и Финляндию. По морю плыли не на гражданском, а на военном корабле. И вот однажды, во время обеда в кают-компании, приходит весть, что замечены военные корабли, которые приближаются, а под каким флагом — не видно. Тогда Наталья Сергеевна взяла какую-то серебряную посуду и вилкой выцарапала на ней:

$$19 - \frac{4}{VIII} - 14$$

Подходит крейсер — неизвестно какой.

Через малое время выяснилось, что это корабли союзников, которые отсалютовали флагами и некоторое время сопровождали. Так что все обошлось, но перенервничали изрядно.

Из Кристиании (Осло) до Стокгольма добирались на автомобилях, и там произошло еще одно существенное событие. А именно встреча Михаила Романова с королем Швеции Густавом V.

К сожалению, в дневнике официальных аудиенций короля нет упоминания о такой встрече — королевский архив любезно откликнулся на мой запрос и прислал копию соответствующей по времени страницы дневника аудиенций Георга V.

Вероятно, из-за того что Михаил подчас ездил инкогнито, его визит не имел ранга официальной аудиенции. Во всех случаях предмет возможной беседы



Николай Александрович, Ирина Николаевна (оба слева), Вера Николаевна (крайняя справа). Посередине, в белом платье, — Наталия Сергеевна Брасова. Лондон.

был более чем серьезен. Перед началом войны Швеция подвергалась сильному давлению со стороны Германии по поводу своего нейтралитета. Немцы всячески пытались склонить ее на активное участие, даже обещая Финляндию. Но в конечном итоге (здесь можно предположить, что не без влияния Михаила) **великой территории великая нация предпочла величие нейтралитета на своей территории.**

Потом было счастливое возвращение на автомобилях и на поезде. Теплая встреча Михаила с царем и всей фамилией, что отмечено в личном дневнике Николая. Из дневника царя за 1914 г.:

«11-го августа. Понедельник.

Отличный летний день. Погулял. Принял Григоровича, Горемыкина и Кривошеина. После прогулки в 4 ч. отправился с Мари и Анастасией на моторе на Елагин к Мама. Пил у нее чай с Ксенией. В это время вошел



Корабль держит курс на континент. На палубе Ирина Николаевна и Вера Николаевна.



Путешествие по Норвегии «на моторе». Справа — остановка для фотографирования. На возвышении — Михаил Александрович Романов.

По дороге в Швецию.
Графиня Брасова (кажется, это она)
уже заняла свое место в коляске.
Справа у дверцы —
Михаил Александрович.



В Торнео, на границе с Финляндией.
На перроне, у вагона, спиной стоит
Михаил Александрович.



Пудреница, на которой Наталия Сергеевна воспроизвела свою запись.

Миша, вернувшийся вчера ночью из Англии, тоже через Норвегию и Швецию на Торнео. Радостно было встретиться! Вернулся в Ц. С. с ним. Он обедал у нас».*

Михаил получил командование сформированной им дивизией, позже названной *Дикой*. Он не оставлял контактов с Шиловым и в 1915—1916 гг. специально приезжал к нему на Юго-Западный фронт для участия в испытаниях химического оружия и русских противогазов, в создании которых Шилов принимал самое активное участие.

От образцов лаборатории Резерфорда у Шилова осталось только то, что он вез лично, — точные копии платиновых тиглей для особо чистых химических реакций. Их он вез в специальном ларчике — сундучке, легко помещавшемся в кармане.

Конечно, горе потери уникального научного оборудования было не только безмерным, но и обоснованным. Кто знает, что бы сделали русские ученые,

владей они столь передовой научной базой. Увы, история не терпит сослагательного.

Военные нужды ставили насущные задачи, и когда в 1915 г. через российского военного атташе в том же Стокгольме стало известно о возможном применении немцами отравляющих веществ на русском фронте, русское командование встретило это сообщение относительно спокойно. К тому времени наша армия уже снабжалась противогазами, разработанными и испытанными Н.Д.Зелинским, Н.А.Шиловым и другими талантливыми русскими учеными, инженерами, офицерами и солдатами.

В 50-е годы XX в. в Историческом музее в Москве я видел небольшой стенд с первым русским противогазом и запиской, написанной рукой моего прадеда: *«Онъ спасетъ тебе жизнь, Н.Шиловъ»*.

...Под конец затянувшегося чаепития Наталия Сергеевна достала и презентовала Вере Николаевне небольшой изящный сувенир — серебряную пудреницу (или бонбоньерку), на крышечке которой с внутренней сторо-



Маленький сундучок и платиновый тигель, изготовленный по образцу применяемых у Резерфорда. (Н.А.Шилов вез их в кармане.)

ны оказалась гравированная надпись, воспроизводившая ту, что навсегда осталась на посуде в кают-компании.

Держу в руках тигель и пудреницу — два молчаливых фетиша этой порой забавной, порой невеселой истории, но должно всенепременно помнить, что стоит бежать истины в прошлом, как это неминуемо скажется в нынешнем и грядущем. ■

* Торнео — город в Финляндии, на границе со Швецией.

Лаборатория профессора Резерфорда

(письмо из Манчестера)

Профессор Н.А.Шилов

Лаборатория Резерфорда* в Манчестере — один из самых главных центров исследования радиоактивности. Отсюда выходит в последнее время целый ряд работ о строении атома. Самому Резерфорду принадлежит теория распада атомов радиоактивных элементов, она теперь принята без возражений и заслужила автору Нобелевскую премию. Все это дает мне право поделиться с читателями «Природы» впечатлениями о научной жизни в лаборатории Резерфорда.

Предварительно несколько слов о самом Манчестере, его Университете и студенческой жизни вообще. Манчестер — крупный фабричный центр, типичный промышленный город Англии, черный от копоти и смрада, скучный, грязный и шумный в деловом квартале и только несколько более уютный на окраинах. Туда бегут жители, и там они живут в узких двухэтажных домиках, как две капли воды похожих друг на друга, вплотную примыкающих один к другому, по одной квартире в каждом, с маленьким палисадничком по фасаду и с неизбежным тройным окном, выступающим вперед. Жилые кварталы отделены от центра города более или менее обширными парками с чахлыми, закопченными деревьями. Это, впрочем, мало помогает — и здесь чувствуется близость Манчестера. С непривычки трудно

дышать, постоянно першит в горле, а в воздухе висит черный дым, заслоняющий солнце даже в те редкие дни, когда оно выглядывает из-за сплошных тяжелых туч.

Манчестерский университет, т[ак] наз[ываемый] Owen's College, был основан в 1845 г. на средства, пожертвованные Оуэнсом, и считался сначала отделением Victoria University (два других отделения — в Ливерпуле и Лидсе). С 1903 г. он признан самостоятельным научным центром, имеет хорошую библиотеку, естественно-исторический музей и ряд лабораторий. Все это помещается в красивом здании, строго выдержанном в специфически английском, условно готическом стиле.

Жизнь английского студента и характер преподавания резко отличаются от университетской жизни на континенте. В Англии к студенту относятся немного по-школьному, лекции походят на уроки, занятия поставлены мало самостоятельно, существуют репетиции. Сообразно с этим и общий уклад жизни носит характер некоторой патриархальности и строгости. Даже внешние формы студенческой жизни очень характерны. Так, например, в определенный час (между часом и двумя) в университетской столовой собираются на обед не только студенты, но и большинство профессоров и преподавателей, которые потом за чашкой чая и трубкой дебатировать самые разнообразные вопросы политики, науки и жизни.

Распорядок занятий строго регламентирован по часам. Рано начинается академическая жизнь, но зато в 6 часов заканчиваются лекции и работы во всех аудиториях и лабораториях, и студенческая жизнь замирает, запирается даже калитка в университетской решетке.

Среди студентов много женщин, и нельзя не отметить, по крайней мере по беглому внешнему впечатлению, очень простого и спокойного, чисто товарищеского отношения между студентами и студентками. Нет и тени того недружелюбного отношения, которое можно было так часто наблюдать в Германии. То же надо сказать и об отношении к иностранцам, которых, впрочем, здесь немного.

Несмотря на строгий режим, здесь нет, однако, никакой канцелярской волокиты. Если вы хотите заниматься по специальному вопросу, то, не требуя никакого диплома, вас записывают в качестве студента-исследователя; в течение семестра, продолжающегося 4 месяца, вы платите около 40 рублей и без всяких формальностей тотчас приступаете к делу. В жизни простого студента много условных внешних форм, пережитков старых традиций. Но это не стесняет студента, точно так же как вообще в английской жизни уживается величайшая свобода личности с чисто средневековыми формами и традициями. Чтобы наблюдать такой контраст жизни у студенчества, надо видеть здешний университетский акт, когда провозглашают вновь до-

* В тексте везде: Резерфорд. — Примеч. ред.

стигнутые степени и приветствуют лиц, их получивших.

Торжественная обстановка строгого актового зала, выдержанного в стиле капеллы, с органом и стрельчатыми расписными окнами. Под звуки органа важно движутся кандидаты в черных тогах, отороченных разноцветным шелком и опущенных горностаем, в средневековых беретах и шапочках. Еще более важно выступают за ними профессора в ярких, цветных шелковых тогах. Потом несут какие-то золоченые жезлы и величественно шествует проректор (ректором числится кто-нибудь из сильных мира и обыкновенно не появляется) в мантии, с цепью. Он занимает трон в середине эстрады, приветствует собрание и произносит несколько высокопарных слов; затем следуют приветствия некоторых профессоров и рукопожатия поочередно всем кандидатам.

Торжественно и театрально; в зале приподнятое настроение. А на хорах университетская молодежь. Она любит свой университет и своих профессоров. Гордится ими, пожалуй, не менее, чем своим футбольным чемпионом. Любит своих товарищей, которых собралась приветствовать. Любит самую эту церемонию и заранее с бою берет места, но ведет себя, как самая отчаянная галерка. Каждое неудачное слово, каждый промах, нескладное движение или просто неуклюжая манера или фигура лица, выходящего на эстраду, тотчас отмечается и подчеркивается градом громких шуток, остроумия или метким звукоподражанием. Галерка подсвистывает, улюлюкает и гогочет, как блаженной памяти бурса.

Невольно вспоминается шекспировская шутка: грубоватая и тяжеловатая, большей частью чисто внешняя и потому в сущности безобидная и незлобивая. Когда с невольной улыбкой наблюдаешь эту студенческую галерку, из которой выходят Томсоны, Резерфорды и Круксы,



Н.А.Шилов с семьей.

то вспоминается, что в одной голове зародился тип Лира и Фальстафа, что одна страна дала культуре Ньютона и футбол и создала понятие «джентльмен» и «хулиган».

Лаборатория Резерфорда помещается в отдельном здании внутри двора. Ни снаружи, ни внутри она не отличается роскошью. Приборы — самые простые. Многое приходится налаживать или мастерить самому — в этом, конечно, большая польза. Все дается работающим бесплатно.

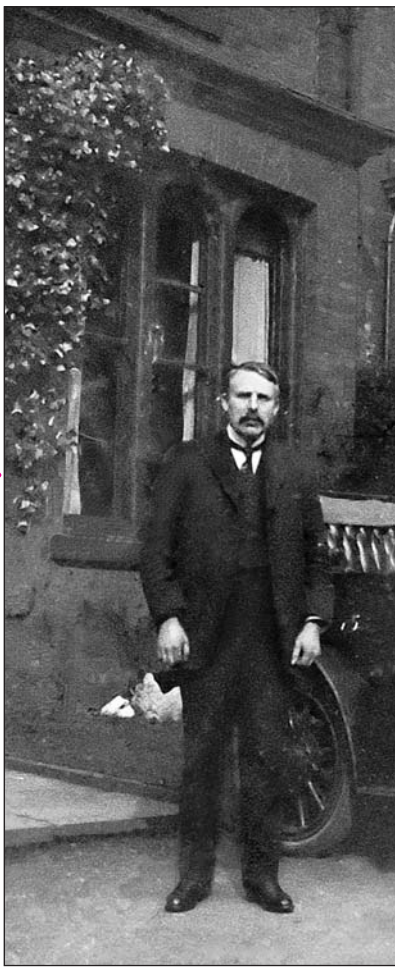
Единственное материальное богатство лаборатории — это раствор полуграмма радиевой соли (для получения эманации) и значительный запас мезотория, радиотория и актиния.

Занятия ведутся в двух направлениях: чисто научные специальные темы разрабатываются под руководством самого Ре-

зерфорда, который принимает в них самое деятельное участие. Приятно видеть, как он увлекается и ничего не видит и не слышит вокруг себя, когда поглощен какой-нибудь научной мыслью или научной беседой с учеником.

Кроме чисто научных работ, в лаборатории поставлены практические занятия для изучения главнейших методов и вопросов радиологии. Этот практикум ведется под руководством энергичного, неутомимого Марсдена — ассистента Резерфорда.

Практикум задуман и поставлен образцово. Постепенно в течение 5-6 недель изучаются: 1) методы радиологических измерений (электроскопы для α -, β - и γ -лучей, эманационный электроскоп, электромметр, счет сцинтилляций на люминесцирующем экране); 2) свойства α -, β - и γ -лучей (поглощение их



Э. Резерфорд.

в веществе, пробег α -частиц, вторичные лучи); 3) методы отделения радиоактивных веществ (электрохимический метод, чисто химические способы, радиоактивная «отдача»); 4) характеристика отдельных радиоактивных элементов, их распада и новообразования. Эта последняя группа работ особенно интересна.

Много раз приходится, конечно, читать о различных радиоактивных продуктах и о более или менее мимолетном их существовании. Но надо самому промерить и проделать опыты, чтобы получить реальное представление об эфемерных элементах: то, что иногда казалось чуть ли не научной мечтой, становится живым образом. Для примера приведу получение ThD

(тория D) — эфемерного элемента из третьей группы Периодической системы (дальнего родича алюминия); это последний радиоактивный член в семье элементов ряда тория. Природа не наделила его долговечностью; все его существование длится около десятка минут, но за это время его легко удастся отделить и следить в электроскопе за его жизнью и смертью до последнего вздоха последнего атома. Как легкая мечта зарождается и исчезает он на глазах наблюдателя. Нельзя не испытывать научного волнения от красоты самого явления и красоты опыта. Не менее, впрочем, интересны и другие опыты изучения жизни целого ряда радиоактивных элементов из ряда тория и актиния — этого мира вечной смены и вечных превращений. И чем особенно приходится поражаться на каждом шагу — это простотой и изяществом методов исследования и получения.

Как бы ни были увлекательны практические занятия, но они являются, конечно, повторением известных фактов. Гораздо важнее научные работы, которые ведутся специалистами и ассистентами Резерфорда под его личным руководством. Всего специально работающих в лаборатории около 12 человек (из них трое русских), и темы большей частью очень интересны. Резерфорд в настоящее время поглощен мыслями о внутреннем строении атома и подходит к этому вопросу с разных сторон. С его точки зрения, атом представляет собой центральное ядро, состоящее из положительных и отрицательных зарядов, или электронов. Вокруг этого ядра в определенной плоскости, наподобие колец Сатурна, расположены и движутся отдельные отрицательные электроны (их, вообще говоря, немного). Атомные ядра различны у различных элементов. Ядро атома водорода состоит, вероятно, из одного положительного электрона, и простое соображение приводит

к выводу, что размеры этого ядра, т.е. вообще положительного электрона, должны быть в тысячи раз больше отрицательного электрона.

Атом водорода, кроме ядра, должен заключать один отрицательный электрон. Этот последний настолько удален от ядра, как спутники от планеты, а потому размеры атома опять-таки в тысячи раз больше, чем размеры отрицательного электрона. Атом гелия в 4 раза тяжелее атома водорода, он состоит, вероятно, из 4 положительных и 2 отрицательных электронов — спутников. Атомы более тяжелых элементов должны нести в себе еще более сложные ядра, состоящие из целой системы положительных и отрицательных электронов.

Такая «нуклеарная» теория строения атомов вылилась, как известно, под влиянием исследования прохождения α -частиц через атомы различных веществ и их рассеяния при этом. (Рассеяние и отражение α -частиц возможно лишь при столкновении с тяжелым внутренним ядром. Оно было бы немыслимо, если бы атом представлял собой равномерное распределение массы во всем объеме.) Интересно было слышать от Резерфорда на одной из его лекций о том, как впервые зародилась у него мысль о существовании атомного ядра, когда он наблюдал, что некоторые α -частицы вместо того, чтобы пронизывать тонкий металлический листок, возвращаются обратно. «Это поразило меня так же, — говорит Резерфорд, — как если бы, стреляя в картонный круг, я наблюдал бы, что некоторые пули отскакивают от него и возвращаются обратно».

Нуклеарная теория строения атома неизбежно ведет к представлению о том, что свойства атомов должны зависеть главным образом от строения внутреннего ядра и от числа электронов в нем. Отсюда вытекают работы, инспирированные Резерфордом, над изменением

спектра X-лучей металлов в зависимости от числа зарядов в ядре их атомов (такова законченная уже работа Мозли); сюда же относятся работы, касающиеся сходства химических признаков элементов при сходстве внутреннего ядра, — мысли, аналогичные с мыслями Фаянса и Содди о положении радиоактивных элементов в Периодической системе...

В применении к радиоактивным процессам нуклеарная теория приводит к выводу, что при этом рода процессах нарушается целостность внутреннего ядра, причем выбрасываются с громадной скоростью отрицательные электроны, β -частицы и целые сложные системы, ядра атомов гелия — α -частицы. Почему же не выбрасываются отдельные положительные электроны — ядра атомов водорода? Вопрос этот служит исходной точкой исследований, обещающих много интересного.

Разработка этого вопроса натолкнула, между прочим, на интересные наблюдения над столкновением α -частиц с более легкими атомами водорода. При ударе тяжелого ядра в более легкое это последнее должно отлететь с большой скоростью, то же наблюдается при полете α -частиц через вещество, содержащее водород, например через пленку парафина или через газообразный водород, атомы которого частью получают скорость в направлении движения α -частиц, если α -частица ударила в самое сердце водородного атома. Этот вопрос разработан теоретически ассистентом Резерфорда Дарвином — внуком знаменитого биолога — и экспериментально изучен Марсденом.

Цикл интересных работ сделан другим ассистентом Резер-

форда — Андраде. Им измерены длины волн мягких и жестких γ -лучей радиоактивных веществ, что представляет громадный интерес в связи с новейшими работами Брэгга по вопросу об отражении X-лучей — работами, открывающими не только природу этих таинственных лучей, но позволяющими заглянуть в самые тайники кристаллов и судить о расположении в них стройных рядов атомов. В работе Андраде поражает остроумие и простота примененных методов и приборов. Не верится, что с такими простыми средствами можно заглянуть в самые недра вещества.

Вопросу о γ - и X-лучах посвящено несколько других работ, еще не законченных. В противоположность лучам обыкновенного света, которые зарождаются во внешних кольцах электронов, γ -лучи, как и X-лучи, возникают, вероятно, в самых глубоких кольцах вблизи атомного ядра. Поэтому их поглощение в веществах, их длины волн и другие признаки являются атомными свойствами, не зависящими от характера соединения, от строения молекулы. Это позволяет видеть в γ - и X-лучах одно из возможных средств изучить внутренние области атома, и в этом интерес их исследования.

Вот самый беглый очерк научной жизни в лаборатории Резерфорда. Я не касаюсь, конечно, многих весьма интересных работ, имеющих эпизодический характер. Не касаюсь также тех манипуляций, которые здесь вошли в обиход. Таково, например, собирание эманации радия и продуктов ее дальнейшего распада. Собирание это производится в знаменитых «трубочках α -лучей», при помощи которых Резерфорд и Гейгер впервые доказали образование гелия

из α -частиц. Это тончайшие стеклянные полые нити, стенки которых пропускают α -лучи. Когда в них заключена эманация радия, они светятся сами и заставляют экран из сернистого цинка блестеть, как перо жар-птицы, ярким голубым сиянием неопишуемой красоты.

В лаборатории Резерфорда есть еще один хороший обычай, который я хочу отметить. Не стану говорить о «коллоквиумах», на которых от времени до времени докладываются новые работы сотрудников Резерфорда или кого-нибудь из посторонних; такого рода коллоквиумы обыкновенно устраиваются во всех крупных лабораториях. Но, кроме этого, ежедневно часа в 4.5 вся лабораторная публика собирается на чай (five o'clock tea) в специальную комнату; приходит обыкновенно и профессор. Беседа вращается исключительно вокруг научных вопросов, делятся свежими впечатлениями о своих успехах и неудачах, никто не думает скрывать о своей работе и ее результатах, советуются друг с другом, обсуждают сообща. Приятно наблюдать, как Резерфорд, чуть-чуть заикаясь, ясно и точно формулирует вопрос и умеет быстро разобраться в чужой работе и наметить план дальнейших действий. Я уверен, что в этой обстановке товарищеской научной беседы, полной взаимного доверия и общего интереса, нередко зарождались мысли, которые послужили ядром позднейших работ.

В заключение моего письма без преувеличения можно сказать, что когда живешь жизнью здешней лаборатории, то почти каждый день несет с собою новую и большую научную радость.

Манчестер, 25 мая 1914 г.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

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
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 11.06.2009
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 386
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6