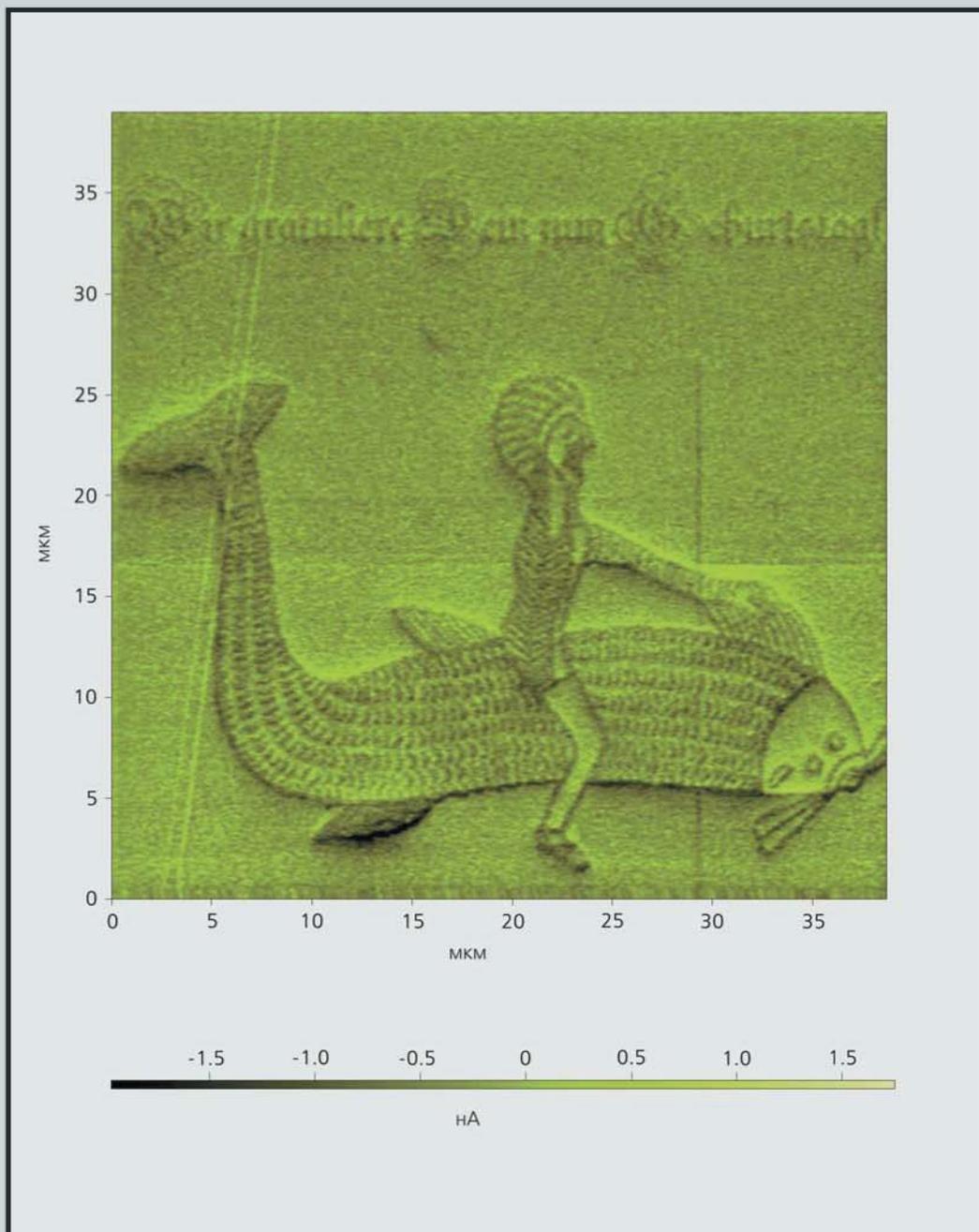


ПРИРОДА

4 09



В НОМЕРЕ:**3 Ефремов Ю.Н.****Что такое «Бюраканская концепция»**

К истине наука идет иногда очень причудливым путем. Хотя работы В.А.Амбарцумяна о звездных ассоциациях помогли определиться с возрастными звездами, его концепция звездообразования оказалась ошибочной.

9 Хаин В.Е., Короновский Н.В.**Геомифология — новое направление в науке**

Мифы и легенды, составляющие часть фольклора, давно интересовали ученых-геологов. И всегда вставал вопрос — это легенда или история?

18 Толстихина А.Л., Сорокина К.Л., Белугина Н.В., Гайнутдинов Р.В.**Электричество под микроскопом**

В атомно-силовой микроскопии электростатическое поле у поверхности образца — не только источник информации, но и возможный источник помех. Как отделить одно от другого?

28 Гольдштейн Н.И., Гольдштейн Р.Н.**Многоликий радикал, или Новое в науке об аэроионах**

Эйфорией, разочарованиями, а порой и шарлатанством насыщена история изучения аэроионов, в том числе активных форм кислорода. До сих пор отношение к ним неоднозначно, однако доказано, что их биологическая активность связана с радикальной природой одного-единственного иона.

36 Гончаров Г.А.**История отечественной двухступенчатой водородной бомбы и научная этика**

Между физиком из бывшего Арзамаса-16 Г.А.Гончаровым и историком науки Г.Е.Гореликом возник спор: был ли А.Д.Сахаров знаком с материалами разведки по американской водородной бомбе, передаваемыми в 1945—1948 гг. Клаусом Фуксом? Если да, то почему Андрей Дмитриевич в своих воспоминаниях как бы уклоняется от ответа на этот вопрос? Понять ситуацию помогают обстоятельные исследования истории создания термоядерного заряда РДС-37.

Апрельский факультатив**46 Расцветаева Р.К.****Антимиры****Вести из экспедиций****53 В.А.Сарана****В поисках овцебыка****Беляева Е.В.****Уникальное древнекаменное орудие из Северной Армении (63)****67****Новости науки**

Лауреаты премии «Триумф» 2008 года в области науки. **Короткевич Г.В.** (67). У галактик есть нижний предел массы (68). Каменное ядро с ледяной коркой в центре Юпитера (68). СТМ-литография нанолент из графена (69). Фуллерены в нанотрубке (69). Такие нужные слезы (69). Эти удивительные менемерусы. **Михайлов К.Г.** (70). Зоохория кувшинки белой. **Семенов Д.В.** (71). Роль трещиноватости пород в эволюции земной коры (71). Отклик первичной продукции моря на потепление климата (72). Землетрясение в Киргизии. **Никонов А.А.** (73). Терезин — новый гунно-сарматский памятник в Туве (74).

Рецензии**75 Пономарев Л.И.****Он между нами жил...**

(на кн.: Яков Борисович Зельдович: Воспоминания, письма, документы)

78**Новые книги****В конце номера****79 Атовмян Е.Г.****Анекдот о таблице Менделеева**

CONTENTS:

- 3 Efremov Yu.N.**
What «Burakan Concept» Is?
Science sometimes approaches the truth by a very capricious path. While V.A.Ambartsumyan's works on stellar associations helped to assess ages of stars, his concept of star formation turned to be erroneous.

- 9 Khain V.E., Koronovsky N.V.**
Geomythology – a New Scientific Field
Myths and legends which are parts of folklore have been intriguing geologists for a long time. And always a question arose – is this a legend or a history?

- 18 Tolstikhina A.L., Sorokina K.L., Belugina N.V., Gainutdinov R.V.**
Electricity under Microscope
In Atomic Force Microscopy electrostatic field near the sample surface is not only a source of information but also a possible source of artifacts. How can one separate them?

- 28 Goldshtein N.I., Goldshtein R.N.**
Multi-Faced Radical, or News in Atmospheric Ion Studies
History of atmospheric ion studies, including active forms of oxygen, is rich of euphoria, disillusionments and sometimes of quackery. Until now attitude toward them is ambiguous, however it is proved that their biological effects are due to radical nature of only one ion.

- 36 Goncharov G.A.**
History of Soviet Two-Stage Hydrogen Bomb and Scientific Ethics
A polemics arose between a physicist from Arsamas-16 G.A.Goncharov and a science historian G.E.Gorelik: was A.D.Sakharov acquainted with intelligence data on American hydrogen bomb, reported in 1945–1948 by Klaus Fuchs? If yes, than why Andrey Dmitrievich seems to dodge the answer to this question in his memoirs? The situation became elucidated by comprehensive studies of history of development of thermonuclear charge RDS-37.

April Lectures

- 46 Raszvetaeva R.K.**
Antiworlds

Notes from Expeditions

- 53 Sarana V.A.**
In Search of Musk-Ox
Belyaeva E.V.
Unique Paleolithic Tool from Northern Armenia (63)

- 67 Science News**
 «Triumph» Prize Laureates of 2008 in Science. **Korotkevich G.V.** (67). Galaxies Have Mass Lower Bound (68). Rock Core with Ice Crust in the Center of Jupiter (68). STM-Lithography of Graphen Nanoribbons (69). Fullerenes in Nanotube (69). So Needed Tears (69). These Astonishing Menemereses. **Mikhailov K.G.** (70). Zoochory of White Water Lily. **Semenov D.V.** (71). Role of Rocks Fissuring in Earth Crust Evolution (71). Response of Primary Marine Production to Climate Warming (72). Earthquake in Kirghizia. **Nikoniov A.A.** (73). Terezin – a New Hun-Sarmatian Site in Tuva (74).

Book Review

- 75 Ponomarev L.I.**
He Lived Among Us...
 (on book: Yakov Borisovich Zeldovich: Memoirs, Letters, Documents)

- 78 New Books**

In the End of Issue

- 79 Atovmyan E.G.**
Anecdote on Mendeleev's Table

Что такое «Бюраканская концепция»

Ю.Н.Ефремов

И в работе больших ученых бывают увлечения, которые противники их идей классифицируют как лженауку. Так иногда называют и концепцию образования звезд и галактик, развивавшуюся директором Бюраканской обсерватории академиком Виктором Амазасповичем Амбарцумяном (1908—1996). Однако в его работах были не только смелые идеи, не подтвердившиеся в дальнейшем, но и фундаментальные достижения, навсегда оставшиеся в истории науки, как было еще раз осознано в прошлом году в связи со 100-летием со дня рождения ученого. Это относится прежде всего к основам динамики звездных скоплений. Еще в 1934—1937 гг. Б.Бок и В.А.Амбарцумян независимо показали, что сроки распада звездных скоплений (из-за «испарения» звезд) и двойных звезд ограничивают их возраст сверху 10^{10} годами, тогда как Дж.Джинс оценивал время их жизни на уровне 10^{13} лет. Именно работам Амбарцумяна о звездных ассоциациях было суждено окончательно покончить со сверхдолгой шкалой возрастов звезд, но выдвинутая им самим концепция звездообразования оказалась несостоятельной.

Происхождение звезд

О звездообразовании, продолжающемся в Галактике в со-



Юрий Николаевич Ефремов, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга МГУ им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — переменные звезды, молодые звездные группировки, строение галактик, история астрономии.

временную эпоху, по-видимому, первым заговорил в 1942 г. Ф.Уиппл, опиравшийся на работы Г.Бёте о ядерных реакциях синтеза водорода как источниках энергии звезд. В 1944 г. А.Унзольд рассчитал, что этого источника энергии для звезд высокой светимости хватит лишь на десяток миллиардов лет. Однако оставалась возможность (о ней говорил позднее Ф.Хойл) «омоложения» старых звезд путем аккреции (захвата) ими межзвездного вещества. Вопрос решили кинематические и динамические оценки возраста звездных ассоциаций, в чем первым был Амбарцумян.

На рис.1, показывающем участок близкой галактики — Большого Магелланова Облака (БМО), — хорошо видно, в чем состоит отличие звездных ассоциаций от обычных молодых звездных скоплений. Сравнительно с расстоянием до БМО его глубина по лучу зрения невелика и видимая структура звездных полей на рис.1 соответствует пространственной. Ассоциации больше по размерам (до 100 пк) и более разрежены, чем скопления, размеры которых не превышают немногие парсеки. Важно отметить, что большинство ассоциаций содержит в себе молодые скопления. Сейчас почти все астрономы согласны с тем, что последние представляют собой более плотные, гравитационно связанные участки ассоциаций.

Выделение звездных ассоциаций как особого вида молодых звездных группировок — заслуга прежде всего Амбарцумяна. Именно с этого и началось в 1947 г. развитие «Бюраканской концепции» звездообразования. Однако названные им так звездные группировки были известны задолго до того.

Еще в 1927 г. Х.Шепли пришел к выводу, что звездные скопления в ряде случаев являются концентрированными частями больших систем. К такому же заключению пришел и В.Биделман, опубликовав-



Рис.1. Участок Большого Магелланова Облака вокруг туманности Тарантул, свечение которой в линии H_{α} возбуждается горячими звездами погруженного в нее (и невидимого на этом изображении) молодого массивного скопления. Разреженная группировка ярких звезд в правом верхнем углу — OB-ассоциация, в трех остальных углах — более плотные звездные скопления. Все фотографии — с сайта www.sai.msu.su/apod/.

ший в 1943 г. результаты исследования звезд-сверхгигантов в области двойного скопления η и χ Персея (рис.2,*а*). Физическая их связь со скоплением несомненна, но размеры всей группировки составляли примерно 200 пк (у рассеянных скоплений они очень редко превосходят 5 пк). Биделман заключил, что эти сверхгиганты не могли быть выходцами из двойного скопления, каждое из которых способно удержать своих членов, и что проблема динамики звездных облаков еще далека от решения. О.Струве исследовал в 1945 г. аналогичную группу сверхгигантов вокруг рассеянного скопления NGC 6231 в Скорпионе (рис.2,*б*).

И вот именно эти две группы были приведены Амбарцумяном в 1947 г. как примеры разреженных группировок горячих (спектральных классов O и B) звезд, для которых он предложил название «звездные ассоциации». В Бюраканской обсерватории было найдено много подобных звездных групп. Но дело было, конечно, не в новом названии для известных уже группировок. Амбарцумян оценил плотность звезд в них и пришел к выводу, что она недостаточна для динамической устойчивости (гравитационной связности) группировки, подверженной действию приливных сил Галактики. Масса последней в основном сосредоточена ближе к ее центру, и эта концентрация массы приводит к тому, что вращение нашей звездной системы происходит дифференциально: его угловая скорость зависит от расстояния до центра. Ни Бидельман, ни Струве не отважились сказать, что ассоциации недолговечны, хотя в руках у Амбарцумяна были первоначально лишь их данные. Он нашел, что за срок ~ 10 млн лет все ассоциации должны распасться. Из динамической неустойчивости, короткого времени жизни ассоциаций — вместе с самим фактом их существования — следовала молодость их звезд; вытекающие из этих соображений оценки возрастов ассоциаций привлекли большое внимание. Так был сформулирован вывод Амбарцумяна о групповом рождении звезд, продолжающемся в современную эпоху. За открытие «нового типа звездных систем — звездных ассоциаций» Амбарцумян получил в 1950 г. Сталинскую премию. Вывод о молодости горячих массивных звезд уже следовал из теории термоядерных источников энергии звезд, но его подкрепление полностью независимыми соображениями, основанными на наблюдательных данных и на теории звездной динамики, было очень важно.



Рис.2. Двойное скопление η , χ Персея, которое чуть старше, чем NGC 6231, и уже свободно от газа и пыли (*а*). O-звезд в нем больше нет, они проэволюционировали в красные сверхгиганты, видимые на фотографии. Возраст этого скопления около 30 млн лет, оно окружено обширной короной звезд (OB-ассоциацией), по-видимому, выброшенных из плотной центральной области в процессе динамической эволюции скопления. Очень молодое (возраст несколько миллионов лет) звездное скопление NGC 6231 — ядро O-ассоциации (*б*). Оно пока погружено в темную туманность — облако газа и пыли, оставшееся от еще продолжающегося в этой области звездообразования.

Однако на выводе о динамической неустойчивости ассоциаций Амбарцумян не остановился. По его оценке, за срок порядка 10^7 лет ассоциации, будучи гравитационно несвязанными, вследствие дифференциального вращения Галактики должны были бы заметным образом растянуться параллельно галактической плоскости, но наблюдательные данные этого не показывали. Отсюда Амбарцумян заключил, что звезды ассоциаций уже при рождении получили скорость не менее 1 км/с (иначе влияние дифференциальности галактического вращения, т.е. приливных сил центра Галактики, сказалось бы на форме ассоциаций), но и не более 10 км/с (такие большие скорости были бы легко заметны). А поскольку конденсация диффузного вещества может дать только устойчивую звездную систему, Амбарцумян был вынужден предположить, что звезды образуются не из облаков газа, а вследствие взрывного распада компактных сверхплотных ненаблюдаемых «дозвездных» тел. Существование этих так называемых «Д-тел» неведомой природы и стало основным постулатом Бюраканской концепции.

Это предположение влечет и физические, и чисто логические проблемы, что побудило многих астрономов выступить против него. Оно противоречит наблюдаемой резкой концентрации молодых звезд к плоскости дисков галактик — газовые облака, порождающие звезды, концентрируются в этой плоскости, а у бесстолкновительной системы плотных тел нет физических причин концентрироваться в плоскости вращения системы. Об этом говорили Амбарцумяну некоторые отечественные и зарубежные астрономы, но он, соглашаясь, что механизм, который мог бы привести к концентрации плотных (протозвездных) тел в галактической плоскости, неизвестен, от идеи Д-тел не отказывался. Такой механизм никогда не был найден, что неудивительно — его существование противоречит давно установленным законам небесной механики, а впрочем, и физики вообще...

Лауреат Сталинской премии Амбарцумян был поддержан большинством отечественных астрономов, а для зарубежных ученых он был известен как создатель концепции расширяющихся звездных ассоциаций, а не странной гипотезы, которую они просто не воспринимали. Когда Барт Бок в своей книге «Млечный Путь» упомянул о роли Амбарцумяна в создании теории образования звезд из газовых облаков, редактор перевода этой книги (автор этой статьи) вынужден был дать соответствующее примечание...

У нас же представления о самом существовании звездных ассоциаций, их расширении и взрывном образовании звезд из ненаблюдаемых сверхплотных тел часто рассматривались как единое «учение», что побуждало противников Амбарцумяна выступать и против самой реальности звездных ассоциаций. Но они существуют — хотя и не несут такой «нагрузки»... Битва разгорелась

на II совещании по вопросам космогонии в мае 1952 г. и закончилась победой Амбарцумяна. Он и его сторонники заняли господствующие высоты в советской астрономии. Ученые, приводившие многочисленные фактические и логические доводы против сверхплотных тел (Л.Э.Гуревич, А.И.Лебединский, Б.А.Воронцов-Вельяминов и др.), остались в меньшинстве. Отметим однако, что сама возможность (почти) безнаказанно (если не говорить об академических выборах...) критиковать «учение о звездных ассоциациях» говорит о том, что моральный климат в отечественной астрономии существенно отличался от такового, скажем, в биологии...

По иронии судьбы, два первых объекта, названные ассоциациями, таковыми в сущности не являются. Это довольно массивные молодые скопления, ядра которых окружены обширными коронами малой плотности. Такая структура — плотное ядро и обширное гало, в несколько раз более протяженное, — присуща всем скоплениям вообще, что со всей определенностью доказал П.Н.Холопов на основе кропотливых подсчетов распределения звезд в скоплениях, начатых в 1963 г. Он заключил, что звездные ассоциации — просто наиболее молодые скопления, находящиеся еще на стадии образования, а наблюдающиеся признаки их расширения — результат динамического взаимодействия звезд при их тесном сближении в таких скоплениях. Оно ведет к образованию двойных звезд при тройных сближениях, в результате которых третья звезда приобретает высокую скорость. Доклад Холопова, представленный им на Европейском астрономической конференции в Тбилиси в 1975 г., был поставлен лишь после ее официального закрытия, что позволило организаторам не включить его в Труды конференции. Это было одним из поводов для резкой реплики С.Б.Пикельнера в адрес Бюраканской концепции на ученом совете ГАИШ осенью 1975 г., незадолго до его безвременной кончины. Он сказал, что «это учение — позор нашей астрономии». В сборнике «Происхождение и эволюция галактик и звезд» (М., 1976) он собирал статьи о реальном положении дел в космогонии, но вышел этот сборник уже после смерти Соломона Борисовича.

Вскоре стало ясно, что расширение ассоциаций можно объяснить и без обмена энергией движения звезд при их сближении в плотном молодом скоплении. В конце 70-х годов астрономы начали осознавать, что важнейшую роль в динамической эволюции молодых скоплений, содержащих много газа, играет энергия, которая вырабатывается внутри звезд. Она поступает в окружающий газ в виде звездного ветра, расширяющихся зон ионизованного водорода вокруг массивных горячих О-звезд, а также при взрывах сверхновых. Воздействие этих звезд на газ выгоняет его из скопления, и если теряется больше 30—50% ис-

ходной массы скопления, оно становится гравитационно несвязанным и распадается. Этого бы не происходило, если бы подавляющая часть массы исходного газового облака быстро превратилась в звезды, но эффективность звездообразования (доля массы, перешедшая в звезды) обычно не превышает 10%. Довольно скоро молодая звездная группировка, потерявшая родительский газ, должна стать разреженной и большей по размерам, так что будет классифицироваться как ассоциация. Постаревшая же ассоциация исчезает из виду, поскольку более массивные яркие звезды быстрее заканчивают свой жизненный путь.

Возможно, острые дискуссии, сотрясавшие нашу астрономию в начале 50-х и возобновившиеся в начале 70-х годов, и не имели бы места, если бы этот простой механизм расширения и распада молодых звездных группировок был бы тогда общепринят, как ныне. Среди первых в обосновании данного механизма в 1977—1978 гг. были В.Г.Сурдин и А.В.Тутуков в Москве и И.Г.Колесник в Киеве. Проблема сейчас состоит скорее в том, как вообще объяснить существование массивных гравитационно связанных скоплений, ведь в них обязательно должны были быть О-звезды и сверхновые.

Любопытно, что в некотором смысле протоскопления действительно оказались плотными ненаблюдаемыми (до примерно 1975 г.) телами. С середины 70-х годов радиоастрономы получили возможность исследовать невидимые в оптическом диапазоне холодные межзвездные газовые облака, плотность которых оказалась намного выше, чем у порождаемых ими звездных скоплений. Эти облака, состоящие в основном из молекулярного водорода, действительно являются протозвездными телами, ибо звезды образуются при гравитационном коллапсе самых плотных их областей. Однако еще и в 1986 г. Амбарцумян утверждал, что звезды и туманности образуются из чего-то другого, неизвестного, при взрывном распаде «Д-тел» (и с тех пор по этому вопросу публично не высказывался).

Эта настойчивость в отстаивании заведомо безнадежной концепции кажется странной, трудно вообразить, что он сам не понимал роли изгнания газа из протоскоплений под действием освобождающейся энергии массивных горячих звезд. И.С.Шкловский в нашем с ним разговоре (которому суждено было стать последним) в декабре 1984 г. назвал Бюраканскую концепцию лысенковщиной и добавил, что и социальные корни те же...

Ядра галактик

Так или иначе, но Амбарцумян первым обратил внимание на ключевую роль разреженных группировок горячих звезд для понимания происхождения звезд вообще — и дал этим группировкам название. Великое дело — своевременно дать на-

звание, ввести новый термин. В начале 60-х годов он же призвал обратить особое внимание на ядра галактик и на идущие в них нестационарные процессы, связанные с выделением огромной энергии, что приписывалось опять же активности неких сверхплотных тел. Природа этих тел не конкретизировалась, теория не строилась, но призыв встретил широкий отклик, особенно после обнаружения в 1963 г. квазаров — объектов огромной светимости и переменности блеска, которые довольно скоро были расшифрованы как компактные ядра «активных» галактик. Пионерная роль Амбарцумяна в привлечении внимания к ядрам галактик была тогда же отмечена крупнейшим астрономом современности А.Сэндиджем.

В конце 60-х уже рассматривалась возможность выделения энергии при процессах аккреции вещества на сверхмассивные черные дыры, возможно находящиеся в ядрах галактик. Сейчас это объяснение, разработанное в основном Я.Б.Зельдовичем и его школой (которые предлагали намного более удачный термин — коллапсар — вместо черной дыры), практически общепринято, однако Амбарцумян и его отрицал.

Вокруг центральной черной дыры в активных ядрах наблюдаются аккреционные диски, с полюсов которых бьют гигантские струи (джеты) заряженных элементарных частиц, двигающихся в магнитных полях с субсветовыми скоростями (рис.3). Иногда они простираются на расстояния в сотни и тысячи (!) килопарсек. Ныне предположения о существовании в центрах больших галактик черных дыр с массами в миллионы и миллиарды солнечных можно избежать, только предположив существование там еще более удивитель-

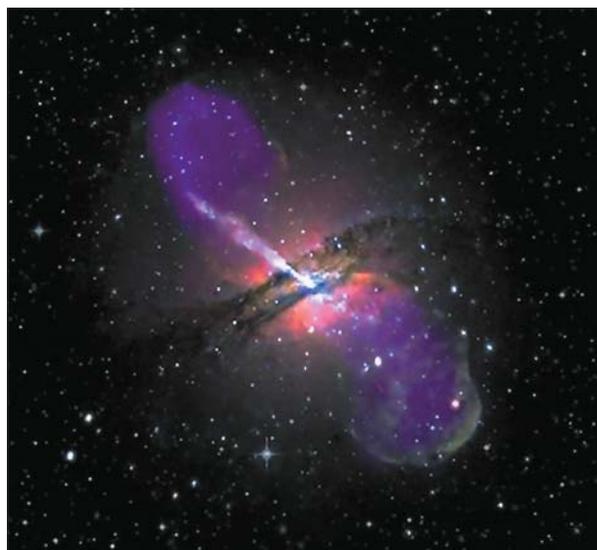


Рис.3. Центральная область пекулярной галактики Кентавр А (NGC 5128), ядро которой испускает джеты почти перпендикулярно к пылевой полосе, соответствующей плоскости диска галактики.

ных объектов, незнакомых современной физике. В сущности это и предполагал Амбарцумян, но необходимости в такой экзотике, по-видимому, нет.

Большинство астрономов считает, что центральные черные дыры образуются в галактиках благодаря стеканию к центру потерявших угловой момент (вращения вокруг центра галактики) звезд и газа из центральных частей сфероидального гало галактики — так называемого балджа. Об этом говорит тесная зависимость между массой центральной черной дыры и массой балджа. Однако в январе 2009 г. было обнаружено, что самые далекие галактики отклоняются от этой зависимости, масса центральной черной дыры в них слишком велика. Возможность существования первичных, «космологических» черных дыр была заподозрена еще несколько лет назад, потому что большие галактики с «активными ядрами» (термин Амбарцумяна) стали обнаруживаться и на расстояниях, слишком уж больших. Возраст таких галактик слишком мал, чтобы успела созреть черная дыра в центре готовой галактики. Первичные сверхмассивные черные дыры, если они есть, притягивают к себе темную материю (о ней см. ниже), и уже потом вокруг них может появиться звездная система. В общем, ядра галактик остаются самой горячей точкой современной астрономии.

Природа иногда подшучивает над взыскующими истину. Амбарцумян был счастлив, когда в 70-х годах было обнаружено движение газа из ядра галактики M 106 (NGC 4258) вдоль некоторых ее спиральных рукавов. Однако позднее выяснилось, что эти аномальные рукава являются на самом деле джетами, истекающими из ядра галактики под небольшим углом (а это редкость) к ее плоскости.



Рис.4. Пекулярная галактика NGC 4258. Красным показаны диск галактики и ее спиральные рукава, бело-голубым — искривленные джеты, бьющие из ядра галактики под небольшим углом к ее плоскости и принятые вначале за необычные, добавочные спиральные рукава.

У M 106 есть и нормальные рукава — и газ отклоняется внутри них от кругового вращения совсем немного, как и во всех других спиральных галактиках (рис.4).

Скрытая масса

Еще одну проблему, не до конца решенную и поныне, поставили первые определения скоростей галактик в их скоплениях. В 1933 г. Ф.Цвикки обнаружил, что дисперсия скоростей галактик в скоплении Волос Вероники составляет около 1000 км/с. В предположении гравитационной связанности скопления это дает очень большую суммарную массу галактик в нем, намного большую, чем следовало из полной светимости скопления и обычного для индивидуальных галактик отношения массы к светимости. Аналогичный результат был получен затем для скопления галактик в Деве. Цвикки не мог найти объяснений этой странности. На проблему почти не обращали внимания до 1958 г., когда Амбарцумян предположил, что массы галактик в скоплениях «нормальные», а их высокие скорости объясняются тем, что скопления гравитационно не связаны и распадаются подобно звездным ассоциациям. Согласно так называемой теореме о вириале, в устойчивой гравитационно связанной системе потенциальная энергия (определяемая взаимным тяготением ее членов) должна быть равна по абсолютной величине удвоенной кинетической энергии. Масса скоплений галактик, — в предположении их связанности находимая по этой формуле, — как правило, оказывается в десятки раз больше суммарной массы входящих в состав скопления галактик. (Массы же индивидуальных галактик устанавливаются по их кривым вращения, по ширине линий в их спектрах, определяемой дисперсией скоростей звезд внутри их, и из косвенных соображений, по зависимости масса—светимость для звезд.) Необходимо было либо допустить наличие в скоплениях скрытой массы, либо считать скопления нестабильными (рис.5).

В 70-х годах И.Д.Караченцев по данным о размерах скоплений и дисперсии скоростей галактик в них нашел, что это предположение ведет к срокам жизни скоплений не более 1 млрд лет. Это ставило под сомнение теорию звездной эволюции, согласно которой возраст старейших звезд в галактиках оценивался в 10—15 млрд лет. Само существование скоплений, несмотря на их нестабильность, приводило к выводу о продолжающемся в них и сейчас образовании галактик — очевидно, из вещества, не имевшего массы на предгалактической стадии, иначе скопления следовало бы считать достаточно массивными и стабильными...

Как мы видели, аналогичный весьма странноватый вывод делался в свое время и в отношении звездных ассоциаций. Этот «вириальный парадокс» долго оставался неразрешенным. Амбарцумян



Рис.5. Скопление галактик в Геркулесе.

и его немногочисленные сторонники находились в логическом тупике, не признавая, что эта идеология приемлема как заслуживающая обсуждения гипотеза лишь в контексте стационарной космологии — продолжающегося в ядрах галактик рождения вещества, которое, согласно космологической концепции Ф.Хойла, Х.Бонди и Т.Голда, должно обеспечить постоянную плотность Вселенной, несмотря на ее расширение. Взгляды Хойла были осуждены еще на II Всесоюзном совещании по космогонии как явный идеализм, и, возможно, Амбарцумян не хотел попасть в ряды «хойлистов».

К 70-м годам уже были известны признаки того, что ненаблюдаемое гравитирующее вещество имеется и в индивидуальных галактиках, а позднее стало ясно, что оно преобладает не только в скоплениях галактик, но и в самих галактиках. Наблюдения лучевых скоростей нейтрального водорода показали, что высокие скорости вращения дисков галактик сохраняются и на очень больших расстояниях от центра, там, где звезд уже не видно. В 1974 г. Дж.Острайкер и Дж.Пиблс и независимо от них Я.Эйнасто с сотрудниками, анализируя зависимости скоростей вращения галактик от расстояния до их центров и плотность вещества в их дисках, пришли к выводу о существовании у галактик обширных корон из темного вещества, в которых может заключаться около 90% массы галактики. Таким образом, массы галактик следовало увеличить на порядок. Вывод о наличии в галактиках и вне их (но внутри скоплений галактик) ненаблюдаемой скрытой массы, на порядок превышающей массу звезд, довольно быстро стал общепринятым. Ныне это часть «стандартной» космологической модели.

Природа носителей этой массы неизвестна и до сих пор. Наиболее вероятными претендентами служат слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP), которые еще предстоит открыть.

Для этого строят подземные детекторы — пытаются измерить годовые вариации в частоте ядерных превращений, которые могут быть вызваны столкновениями с WIMP, приходящими из глубин Галактики (вращение Земли вокруг Солнца модулирует частоту наших встреч с этими частицами). Это, пожалуй, самый яркий пример единства задач физики и астрономии — две науки должны ныне различать лишь по их методам. Затянувшиеся поиски этих частиц привели к появлению экзотической гипотезы о необходимости несколько изменить теорию всемирного тяготения для масштабов галактик — но Зельдович справедливо говорил, что «новую физику» можно принять только под дулом пистолета, когда все остальные возможности исчерпаны. Вспомним, что, не желая отказываться от закона сохранения энергии, физики искали предсказанное теорией нейтрино около 40 лет — и ведь нашли же.

* * *

Мы видим, что Амбарцумян снова обратил внимание на важнейшую проблему, но предложенное им решение задачи снова оказалось неверным. Однако смелая, стимулирующая гипотеза — еще не лженаука. Она превращается в элемент лженауки, когда на ней настаивают, не имея доказательств и вопреки множеству независимых подтверждений другой точки зрения. Амбарцумян настаивал слишком долго...

Предположение об образовании звезд и галактик из некоего сверхплотного вещества получили у нас название «бюраканской концепции». Ее сторонники в сущности утверждали, что происхождение и звезд и галактик покрыто мраком неизвестности. Даже в 1982 г. Амбарцумян писал (Sky & Telescope. V.64. P.518): «Я полагаю, что все начинается с очень массивных ядер. Однако даже в моей стране многие придерживаются противоположного мнения: они думают, что в начале всего были газ и пыль. Однако мы повсюду наблюдаем потерю вещества; никто не наблюдал коллапс газовой туманности в звезду». Заметим, что наблюдать это трудно, но и такие данные теперь есть.

В начале звезд бесспорно был плотный газ, всегда сопровождаемый «пылью» — частицами сажи (углерода), вокруг которых концентрируются молекулы полиароматических углеводородов. (Кстати сказать, органики в космосе сколько угодно, окаймляющие спиральные рукава галактик пылевые полосы насыщены такими молекулами.) Черные же дыры действительно являются достаточно плотными телами (но не сверхплотными), а в центрах галактик их массы очень велики, до миллиардов солнечных масс. Это не мифические Д-тела Амбарцумяна, но, как уже говорилось, возможность существования первичных, «космологических» черных дыр обсуждается теперь вполне серьезно. Необходимо признать, что проблема образования галактик остается нерешенной и по сей час. ■

Геомифология — новое направление в науке

В.Е.Хаин, Н.В.Короновский

Мифы и легенды, составляющие часть фольклора, давно интересовали исследователей в области наук о Земле. Более того, легенда о Всемирном потопе принималась всерьез некоторыми известными геологами вплоть до первой четверти XIX в. и служила основой учения, получившего названия дилuviанизма (от лат. diluvio — потоп), согласно которому геологическая история делилась на время, предшествовавшее и последовавшее за Всемирным потопом. Лидер дилuviанизма, британский ученый У.Бекленд даже был почетным членом Московского общества испытателей природы. Позднее, под влиянием работ Ч.Лайеля, он был вынужден пересмотреть свои взгляды.

Именно такие известные легенды, как, в частности, основанная на высказываниях Платона легенда об Атлантиде, равно как и библейское сказание о Всемирном потопе, продолжали интриговать геологов. И всегда вставал вопрос — это легенда или история? В XX в. было опубликовано весьма серьезное исследование профессора Венского университета, известного исследователя Альп А.Тельмана и его супруги Э.К.Тольман, в котором не только доказывалась реальность представления о Всемирном потопе, но даже устанавливалась, с точностью до года, дата этого события.

© Хаин В.Е., Короновский Н.В., 2009



Виктор Ефимович Хаин, академик, заслуженный профессор геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Специалист в области геотектоники и геодинамики. Лауреат Государственных премий СССР (1987) и РФ (1995). Постоянный автор «Природы», долгие годы был членом редколлегии журнала.



Николай Владимирович Короновский, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой динамической геологии. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов — магматизм, геодинамика, неотектоника. Неоднократно печатался в «Природе».

В феврале этого года Виктору Ефимовичу исполнилось 95 лет. Редакция поздравляет юбиляра, желает ему здоровья, благополучия и новых публикаций в нашем журнале.

В 1973 г. профессор Индианского университета в США Д.Виталиано опубликовала книгу «Легенды о Земле и их геологическое происхождение», в которой и предложила термин «геомифология». В 1990 г. израильский геолог Я.Бентор написал специальную статью [1], посвященную геологическому истолкованию описанных в Библии событий. В 2004 г. на 32-й сессии Международного геологиче-

ского конгресса, состоявшейся во Флоренции, был проведен симпозиум на тему «Мифы и геология», на котором Виталиано прочитала заглавный доклад. Эта дата и может, очевидно, считаться официально датой рождения нового научного направления в науках о Земле.

В 2002 г. Лондонское геологическое общество опубликовало сборник статей под общим названием «Мифы и геология» [2].

В нем принял участие российский ученый В.Г.Трифонов (Геологический институт РАН).

В геомифологии можно выделить три главных аспекта исследований. Первый и наиболее традиционный из них заключается в установлении степеней реальности того или иного мифа или легенды, в поиске того геологического феномена, объекта или явления, которые послужили основой их создания.

Второй аспект состоит в использовании сведений, содержащихся в том или ином виде в данной легенде или мифе, для установления даты и масштаба описываемого в них события — землетрясения, вулканического извержения или катастрофического наводнения. Эти сведения могут быть полезны, например, для установления периодичности повторения в данном регионе землетрясений определенной магнитуды.

Третий аспект — определение степени влияния того или иного катастрофического события на развитие человеческой цивилизации, что в особенности относится к истории древних культур. Недавно издательство Принстонского университета опубликовало книгу сейсмолога А.Нура, написанную в соавторстве с Д.Берджесом, «Апокалипсис: землетрясение, археология и провидение» (Apocalypse: earthquakes, archeology and the earth of God). В ней доказывается, что гибель восточно-средиземноморских цивилизаций бронзового века была связана с имевшими место землетрясениями в том регионе около 1200 лет до н.э.

Мы остановимся в основном на первом аспекте геомифологии, рассматривая его на наиболее известных примерах.

Гибель Содомы и Гоморры

Один из ярких сюжетов, содержащихся в Библии, — повествование о разрушении городов Содомы и Гоморры, или пятигра-

дия Содомского, которое последовало по воле Господа за то, что их жители вели себя крайне неподобающим образом. Иосиф Флавий, иудейский историк I в. н.э., писал о том, что «прилегающая к озеру область Содомитская была некогда благословенною страною по своему плодородию и украшалась многими городами, но теперь она совершенно выжжена». Многочисленные исследователи уверены, что катастрофа, постигшая Содом и Гоморру, — вполне реальное природное событие. Выяснению этой катастрофы посвятили специальные работы Бентор [1], Трифонов [2. Р.133—142] и очень подробный анализ сделал Д.Рол [3] на основании предположения, изложенного немецким ученым М.Лауденом.

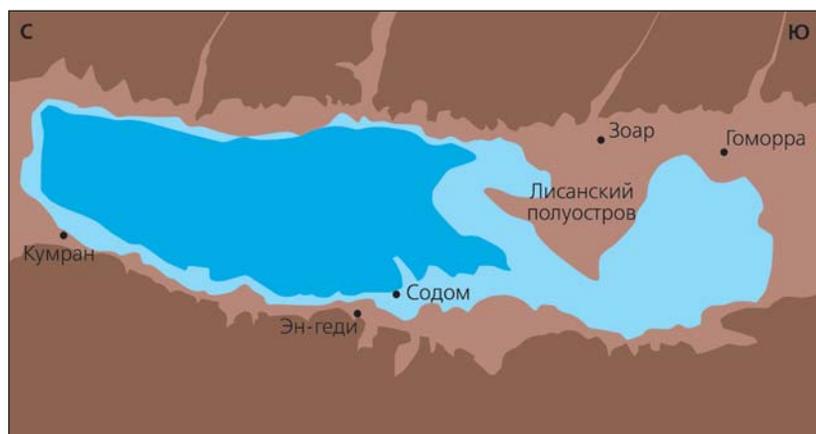
До сих пор нет точного ответа на два вопроса: где находились эти города и когда произошла уничтожившая их катастрофа?

«И пролил Господь на Содом и Гоморру дождем серу и огонь от Господа с неба. И ниспроверг города сии, и всю окрестность сию, и всех жителей городов сих, и все произрастания Земли. Жена же Лотова оглянулась позади его, и стала соляным столпом» (Бытие, гл. 19. 24—26).

Природный катаклизм, уничтоживший эти города, произо-

шел во времена Авраама и Лота. Содом, существовавший уже в раннем бронзовом веке, дал убежище Лоту и его племени после того, как он был спасен Авраамом от рабства, грозившего ему в Месопотамии.

Местонахождение Содомы большинство исследователей соотносит с западным побережьем Мертвого, или Соленого, моря, как его называли в то время. Город располагался на пологой равнине, окаймлявшей побережье Мертвого моря, уровень которого был примерно на 120—150 м ниже, а Содом находился против ущелья Нахал-Хевер. Совсем рядом, но чуть севернее, в 2—3 км из отвесных скал бил непересыхающий источник пресной воды в оазисе Эн-Геди, существующий и сейчас. Он мог снабжать Содом водой, также как и зимняя дождевая вода из ущелья Нахал-Хевера. Во времена Христа уровень моря был примерно на 50 м ниже современно, а в ранний бронзовый век — еще ниже. Климат тогда был засушливым, а южной половины современной солончаковой впадины Мертвого моря вообще не существовало. На крайнем юго-востоке впадины, по-видимому, располагался г.Гоморра, к югу от г.Зоара. Туда ушел Лот и там сейчас известны руины селения Баб-эд-Дра. Остатки Гоморры



Мертвое море. Предполагаемое положение Содомы и Гоморры. Темно-синим цветом показано возможное положение впадины Мертвого моря во 2-м тысячелетии до н.э. Светло-голубым — суша в то же время. Светло-коричневым — прибрежная суша.

отождествляются с археологическим пунктом Нумейра, рядом с Баб-эд-Дра. Еще античные авторы, в частности Страбон, писали о том, что Содом располагался где-то между Эн-Геди и Масадой, находившейся в 7—8 км южнее Эн-Геди.

Рол приводит кусок сонарной карты Мертвого моря Израильской геофизической экспедиции 1978 г., на которой рядом с Эн-Геди указаны два удлиненных холма — возможные места расположения Содома — и даже впадина, отождествляемая с карьером, откуда могли брать камень для строительства крепостных стен Содома, или с библейскими «смоляными ямами», где содомиты добывали ценный битум («черный вар») и, возможно, серу осадочного происхождения. Сам город Содом существовал еще в 3-м тысячелетии до н.э., о чем свидетельствует клад медных вещей из храма, найденный в пещере Нахал-Мишмар.

Что за бедствие обрушилось на Содом и Гоморру и когда? Согласно Новой Хронологии Рола, это произошло летом 1830 г. до н.э. Все признаки говорят о сильнейшем землетрясении, предвестники которого ощущались по крайней мере за месяц. Стены домов покрылись трещинами, битумные ямы завалились, а уровень моря внезапно понизился на несколько метров. Лот с семьей покинул Содом и пошел через Лисанский соляной полуостров к Зоару. И в это время произошло сильнейшее землетрясение, гипоцентр которого, вероятно, был связан с мощным разломом — левым сдвигом, ограничивающим рифт Мертвого моря с запада. В воздух была выброшена горящая жидкая сера. Серные шары находят в этом районе и в наши дни. Огонь, о котором упоминается в Библии, и сильнейшие подземные толчки полностью разрушили Содом и, скорее всего, и другие города — Зоар и Гоморру. Трифонов считает, что гибель Содома и Гоморры связана с вулканическим извер-



Крепость Масада, в нескольких километрах от оазиса Эн-Геди. В этих местах, возможно, находился г.Содом.

жением в юго-западной Сирии, где под лавовыми покровами обнаружены обильные костные остатки [2, р. 133—142], но это слишком далеко от мест, описываемых в Библии. Как бы то ни было, Содом и Гоморра погибли от ужасной и реальной природной катастрофы в начале 2-го тысячелетия до н.э., т.е. 4 тыс. лет назад, что и нашло отражение в Библии. Сейчас уровень Мертвого моря катастрофически понижается, примерно на 1 м/год. Может быть, мы увидим остатки Содома?

Библейский потоп — миф или реальность?

Все, конечно, слышали о Всемирном потопе, так красочно описанном в первой книге Ветхого Завета. Разгневался господь на людей «... ибо земля наполнилась от них злодеяниями» (Бытие, гл. 7.13), и захотел он их истребить, наслав на землю невиданный дождь. Но предварительно он велел Ною, человеку праведному и непорочному в роде своем, сделать огромную лодку-ковчег и погрузить в нее все свое семейство и всех жи-

вотных. И вот «...в сей день разверзлись все источники великой бездны и окна небесные открылись... И лился на землю дождь сорок дней и сорок ночей» (Бытие, гл.7. 11, 12). «И усилилась вода на земле чрезвычайно, так что покрылись все высокие горы, какие есть подо всем небом. На пятнадцать локтей поднялась над ними вода и покрылись горы» (Бытие, гл.7. 19, 20). Наконец, вода начала спадать, показались верхи гор, земля осушилась. Ной открыл ковчег, ступил на землю и выпустил всех животных. Далее сказано, что «...остановился ковчег на горах Араратских» (гл.8. 4).

Следует иметь в виду, что под «горами Араратскими» не стоит подразумевать гору Арарат на Малом Кавказе. Скорее всего, эти невысокие горы находились восточнее Тигра и Евфрата, в предгорьях Загроса, где располагалось царство Аратта и горы Араттские. В книге «Иудейские древности» Флавий пишет, что гора, к которой причалил ковчег Ноя, была давно известна. Возможно, она находилась где-то в Курдистане (Джуди-Даг, горы Кардуайан, земля Кардуния). Иногда горой сошествия назы-

вают Нисир в Загросе. Во всяком случае, Арарат, высотой более 5 км, вряд ли может быть местом, где Ной спустился из ковчега на землю. Библейский потоп глубоко проник в сознание людей, как Божье наказание за многочисленные грехи и как спасение праведника Ноя.

Был ли потоп, т.е. катастрофическое наводнение, на самом деле? Мы знаем, что очень часто мифы приводили археологов, поверивших в них, к величайшим открытиям. Достаточно вспомнить Г.Шлимана с Троей и Микенами.

Один Всемирный потоп или «местные» потопа в разное время? Когда говорим о Всемирном потопе, то всегда подразумеваем тот, который описан в Ветхом Завете. Однако водные катастрофы известны более чем в 150 преданиях многих народов. Поэтому правильнее говорить о потопе всечеловеческом, а не о потопе, захватившем все пространство Земли. В древнегреческой мифологии есть Девкалионов потоп, о котором рассказывается в девятой Олимпийской оде Пиндара. Зевс, разгневавшись на царя Ликаона в Аркадии, превратил его в волка, разрушил дворец молнией и послал на землю страшный ливень. Вся Греция (кроме вершины Парнаса) скрылась под водой, а спаслись лишь Девкалион, сын Прометей, и его жена — Пирра. Прометей велел сыну сделать огромный ящик, который был прибит волнами к Парнасу, а потом Девкалион попросил Зевса снова заселить Землю людьми.

В Месопотамии предания говорят о трех разных «местных Ноях». Шумерский Ной — Зиусудра, старовавилонский — Атрахасис и аккадский — Утнапиштим. И все они спасались от потопа в ящиках-лодках. Легенду об Утнапиштиме впервые прочитал англичанин Дж.Смит в 1872 г. на клинописной табличке из раскопок Ниневии. По этой легенде, добропорядочный Утнапиштим жил со своей

супругой в г.Шуруппаке (нынешняя Фара в болотах Афеджа). Бог Эа предупредил его о страшном потопе, которым он собирался наказать род людской. Утнапиштим построил большой ящик-лодку и посадил в него свое семейство и скот. Шесть суток лодку носило по бурной воде, пока она не пристала к горе Нисир, находившейся в западных отрогах Загроса, т.е. к востоку от р.Тигр. Утнапиштим выпускал из лодки голубя, ласточку и, наконец, ворону. И когда последняя не вернулась, он догадался, что вода начала отступать.

Нетрудно увидеть, что это предание чрезвычайно похоже на историю с потопом, изложенную в книге «Бытие» Ветхого Завета, куда оно попало (и в этом вряд ли кто сейчас сомневается) из Месопотамии.

Индуистский Ной — Ману — также сумел уцелеть во время потопа в долине Инда. Подобный список можно продолжить. В истории многих народов, живших на разных континентах, есть предания о катастрофах — наводнениях. Иными словами, «потопов» было много. Но самое важное, что происходили они, очевидно, в разное время и охватывали вполне определенные участки суши, преимущественно низменности с крупными речными системами, начинавшимися в горных районах.

Девкалионов потоп относится где-то к 1500—1550 гг. до н.э. Следует отметить, что в то время произошло грандиозное извержение вулкана Санторин в Кикладском архипелаге Эгейского моря, погубившее минойскую цивилизацию на о.Крит. Вполне возможно, что извержение сопровождалось волнами — цунами, которые достигли не только Крита, но и континентальной Греции, Пелопонесса.

На о.Родос, также принадлежавшем Кикладской островной дуге — ее восточному окончанию, — существует предание о грандиозном потопе, перед

которым жители острова — телькины переселились в близлежащую Малую Азию. Возникшая впоследствии на Родосе новая культура гелиадов (детей Солнца) была уничтожена наводнением вследствие длительных дождей. После всех катастроф в Эгейском регионе (на Крите, Санторине, Родосе) туда устремились ахейцы, продвигавшиеся на юг с Балканского п-ова. Эти катастрофы так или иначе связываются с «потопами» где-то в XV в. до н.э.

Геологические доказательства Всемирного потопа. Разнообразные литературные источники, а не только Ветхий Завет, свидетельствуют о том, что потоп или сильное наводнение было вполне возможным реальным историческим событием, которое обратило в ничто цивилизации, только зарождавшиеся на обширных равнинных пространствах Месопотамской низменности.

Археолог Л.Вули (1880—1960) в 1928—1934 гг. проводил раскопки в низовьях р. Евфрат, где исследовал древнешумерский город Ур. Он сделал раскоп в 20 м глубиной и на уровне примерно в 4 м от дна обнаружил слой мощностью 5 м явно аллювиальных (речных) илистых отложений, абсолютно лишенных каких-либо археологических остатков. Ниже данного слоя фиксируются следы пожаров, уничтоживших какие-то постройки, зола и черепки, датированные 1-м, 2-м и 3-м убаидскими периодами. Ниже слоя раннего убаидского периода следов присутствия человека не обнаружено. Зато выше «немого» слоя аллювиальных отложений также залегает слой мощностью 5 м, но содержащий огромное количество черепков, фрагменты печей для обжига керамики и захоронения, что дало повод отнести этот слой к более позднему, урукскому периоду. Рол [3] полагает, что слои аллювиальных, весьма тонких илистых и песчаных отложений могут быть датированы где-то между 4000

и 3000 г. до н.э. Если это следы Библейского потопа, то он произошел 5000—6000 лет назад, в ранний период шумерской цивилизации, на рубеже исчезновения древнейшей убаидской культуры. После Потопа начался расцвет уже более высокой урукской культуры, когда появился, по-видимому, гончарный круг. Всем нам хорошо известный Гильгамеш, пятый царь Первой урукской династии, жил на 1000—1500 лет позднее Потопа.

Изложенные выше данные позволяют сделать вывод о том, что катастрофическое событие «Всемирный потоп», описанный в книге «Бытия» Ветхого Завета, мог действительно иметь место. Он, конечно, не был «всемирным», а случился в Месопотамии, в основном в низовьях долин Великих рек — Евфрата и Тигра. В те времена воды залива в силу эвстатического подъема уровня океана проникали далеко на север и могли повышать свой уровень за счет ветрового нагона. Однако слой, вскрытый в раскопе в Уре, представлен именно аллювиальными глинами и тонкозернистыми песками, что говорит о движущейся речной воде, относительно медленно текущей. Состав же осадков дал повод Вули считать их принесенными со среднего течения Евфрата. Следует подчеркнуть, что древние города Ур, Эриду, Тель-аль-Убанд, Урук и другие поселения располагались в приустьевой части Евфрата, где наводнение должно было ощущаться особенно сильно. Рельеф в этих местах абсолютно низменный, близкий к уровню вод в заливе.

С точки зрения климатических условий, существовавших 5000 лет назад, никаких препятствий для возникновения мощных наводнений не было. Наоборот, более влажный климат способствовал выпадению обильных осадков, особенно в горных районах, где быстрое таяние снегов могло вызвать наводнение в равнинной части долин двух великих рек.

Атлантида

Лучшего места, чем о.Санторин, для легендарной Атлантиды Платона не найдешь. В своих диалогах «Тимей» и «Критий» великий греческий философ весьма подробно описал остров, о котором он сам слышал лишь со слов Солона — законодателя Афин, а тот от жрецов — египтян. На нашу беду, Платон поместил Атлантиду за «Геркулесовыми, или Геракловыми столпами», т.е., в современном понимании, западнее Гибралтарского пролива в Атлантическом океане. После страшных землетрясений и последовавших наводнений Атлантида исчезла, погрузившись в морскую пучину.

Об Атлантиде и ее местонахождении написаны десятки книг. Где только не находили для нее места! Не будем их перечислять, но вполне возможно, что этого острова и не существовало вовсе, а Платон хотел таким необычным способом поведать эллинскому миру свое видение идеального и справедливого, по его мнению, государственного устройства. И такую идею нельзя сбрасывать со счетов. Од-

нако нас занимает не столько Атлантида-государство, сколько остров, который мог быть в глубокой древности и на котором существовала высокая цивилизация, исчезнувшая в одночасье примерно 3500 лет назад.

Первым, кто высказал предположение, что современный лишь о.Санторин и есть Атлантида Платона, был французский археолог Фигье (1872), хотя несколькими годами раньше другие французские археологи уже нашли под пемзой остатки домов на юге острова у с.Акротири. Трактовку геологической истории острова 50 лет назад предложил геофизик А.Г.Галанопулос, показавший, что небывалое по силе извержение вулкана привело к катастрофе не только на самом острове, но и во всем ближайшем Восточном Средиземноморье. В частности, на Крите в 1900 г. Шлиман раскопал Кносский дворец царя Миноса, принадлежавшего древнейшей цивилизации, исчезнувшей примерно за 1500 лет до н.э.

Геологическая ситуация. Остров Санторин (Святая Ирина) раньше назывался Стронгиле (круглый), Каллисто (самый



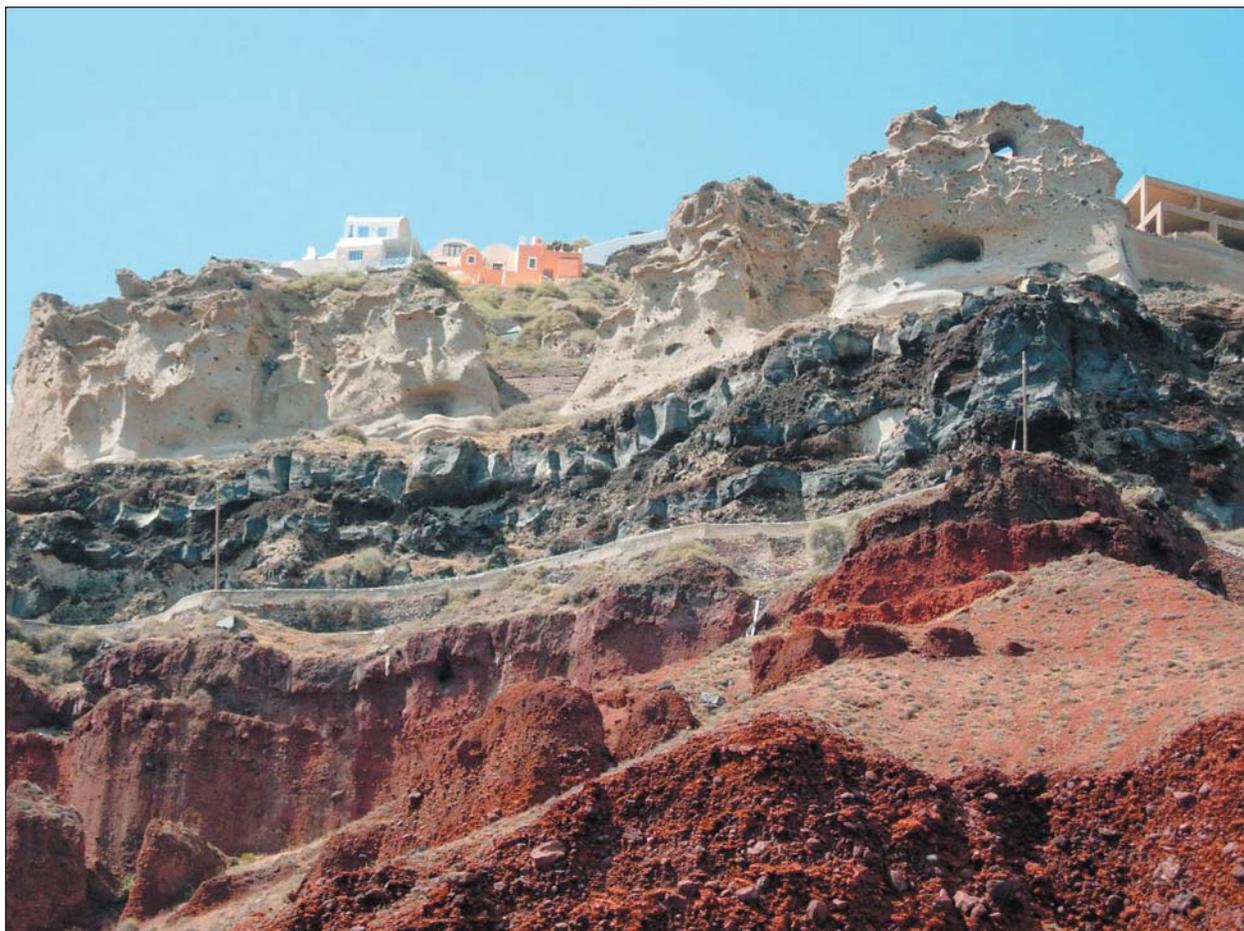
Остров Санторин. На переднем плане — черные лавы о.Неокамени, в центре — о.Палеокамени, на заднем плане — самый маленький остров, Аспрониси. На нем видны выходы светлой пемзойной тefры.

Здесь и далее фото Н.В.Короновского



Лавовые потоки в обрыве кальдеры о.Санторин.

прекрасный). Это наиболее южный остров Кикладской островной дуги в Эгейском море, отстоящий от Крита на 120 км к северу. Он состоит из нескольких островов — Фиры (Тиры), Фирассии и Аспрониси, обрамляющих огромную чашу, в центре которой располагаются два небольших островка — Палеокамени и Неокамени. Самый большой — Фира — обладает формой полумесяца, подчеркивающего прежний вид всего о.Стронгиле (Круглого). Любому геологу достаточно лишь взглянуть на пласты вулканических пород, обнажающихся в вертикальных обрывах Фиры, чтобы признать в системе островов гигантскую кальдеру (диаметром до 15–16 км и глубиной до 500 м), образовавшуюся в результате мощнейшего взрыва и обрушения вулканиче-



Остров Фира. В обрыве обнажаются: светлая пемзовая тефра, красные агломераты и черные лавовые потоки.

ской постройки — стратовулкана. Если мысленно продолжить вверх пологие внешние склоны Фиры и Ферассии, то высота вулканической постройки будет явно превышать 1 км — намного больше, чем современные высшие точки островов.

Вертикальные обрывы Фиры по горизонтали расчерчены полосами необычайно красивой цветовой гаммы: черные лавовые потоки чередуются с красными толщами лавобрекчий; желтыми, серыми и оранжевыми пластами туфов; туфобрекчий, а также пород, которые называются тефрой, и свидетельствуют о чередовавшейся эксплозивной (взрывной) и эффузивной (излияния лав) деятельности древнего вулкана. В одних местах пласты расширяются, как например, красные туфобрекчии в районе поселка Ия, в других — выклиниваются и сходят на нет, что говорит об извержениях различной силы и разного типа, происходивших из разных центров на склонах вулкана. Только в двух местах на Фирассии имеются выходы метаморфических мезозойских пород. Одно — гора Меса-Вуно с вертикальными скальными обрывами, выступающими в море, второе — обрывы около порта Афиниос на юге Ферассии, являющиеся тем фундаментом, на котором образовался вулкан. Наиболее древние вулканические породы здесь имеют возраст 0.527—0.640 млн лет.

Поверхность всех островов, образующих Санторин, покрыта толщей светлого пемзовидного или пемзового пирокластического материала (минойской пемзы), местами сильно размытого, но в общем хорошо сохранившегося и выделяющегося на фоне темных лав и тефры. Его мощность варьирует от нескольких до 150 м. Насчитывается три таких слоя. Верхний — самый мощный, достигает 150 м, другие выклиниваются и обладают мощностью не более 5—6 м.

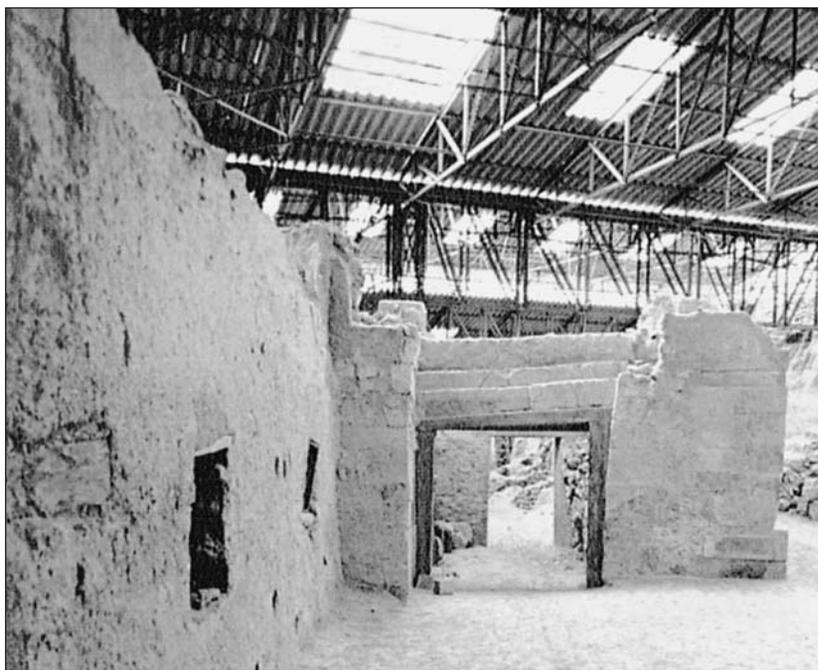
Наиболее впечатляющие обнажения пемзовой светло-жел-



Обрыв кальдеры Санторина на о.Фира. Вверху — выходы светлой минойской пемзы, в нижнем углу проглядываются черные туфы и туфобрекчии. Внизу — черные туфы и туфобрекчии, в которых обнаружены многочисленные отпечатки листьев оливок.



Карьер пемзовой тефры, из него породу возили на строительство Суэцкого канала.



Раскопанный город Акротири на о.Санторин.

той тефры находятся в обрывах высотой до 40—50 м южнее г.Фирры. В конце XIX в. их разрабатывали и пароходами отправляли породу в Египет на строительство Суэцкого канала. Пемзовая тефра, облегающая все неровности древнего рельефа, подстилается черными слоистыми туфами и туфобрекчиями. В последних в изобилии встречаются отпечатки листьев оливковых деревьев, которые после извержения на острове уже не растут.

Пемзовая тефра содержит очень мало минералов-вкрапленников (от 2 до 18—20%), представленных плагиоклазом, авгитом и гиперстеном, но чаще всего структура — афировая (т.е. без вкрапленников). Температура извергающейся тефры, по-видимому, составляла 900—1100°C. Судя по объему выброшенного материала (около 83 км³), извержение пемзовой тефры было грандиозным. После него вулканическая постройка просела

и обрушилась. Как долго продолжалось это извержение, остается неясным. Но, очевидно, оно не было мгновенным. Об этом свидетельствуют два более ранних пемзовых пласта.

Последствия взрыва вулкана. На острове 3500 лет назад были поселения, и довольно большие. Одно из них, раскопанное греческим археологом С.Маринатосом в толще пемзовой тефры еще в 60-х годах XX в., назвали Акротири, по имени небольшой деревушки на юге о. Фирры. По существу это был город с двухэтажными домами, с небольшими площадями, с рынком, мастерскими, кладовыми, мельницами. Комнаты в домах украшались потрясающими фресками, которые сейчас представлены в отдельной экспозиции Афинского исторического музея. Полы во многих домах были мозаичными. Сохранилось много разнообразных керамических изделий — пифосов, сосудов, ваз и других, покрытых великолепной росписью, изображениями морской и наземной фауны. Встречались фрески и с кораблями, на которых жители Акротири плавали на соседние острова, Крит, Кипр и на восточное побережье Средиземноморья. В то время Эгейское море не было препятствием для общения между континентами. Очень важно, что на глиняных черепках обнаружены надписи, являющиеся точной копией критских надписей. Они выполнены так называемым критским «линейным письмом А». Все острова этого региона были связаны между собой экономически.

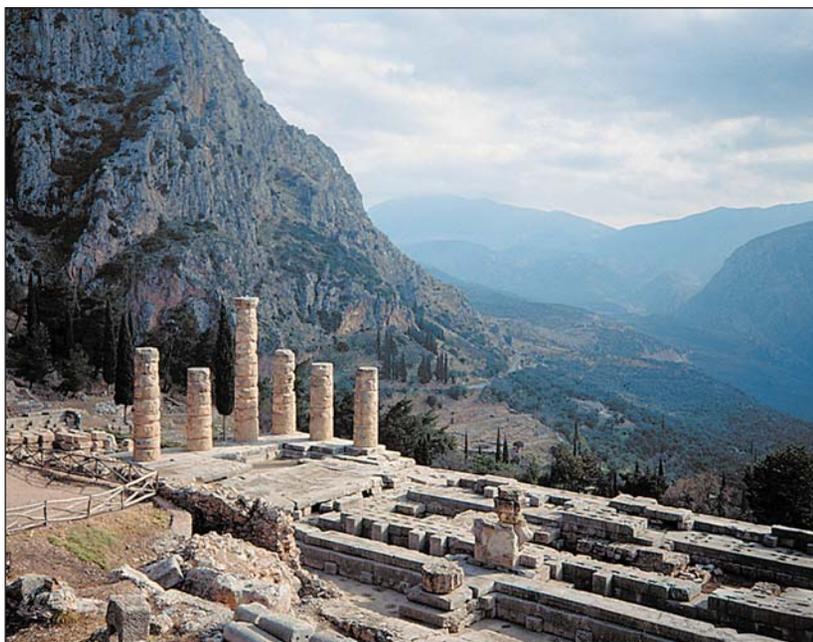
Археологические раскопки в Акротири производят неизгладимое впечатление. Пред нашим взором предстает древнейшая высокоразвитая культура, подобная существовавшей в то же время на Крите минойской цивилизации. И вот эта цивилизация, выдающаяся по своему уровню развития, исчезла, как дым погасшего костра.

Катастрофическому извержению Санторина предшествовала повышенная тектоническая активность региона. Предвестниками катастрофы служили, по видимому, частые землетрясения и возобновившаяся вулканическая активность Санторина. Это вынудило жителей Акротири покинуть свои дома. При раскопках погребенного города найдено всего несколько человеческих скелетов, в то время как численность населения составляла не менее 30 тыс. жителей.

Дельфийский оракул

Одна из наиболее популярных древнегреческих легенд — легенда о Дельфийском оракуле, вещавшем через жрицу Апполона — Пифию, которая восседала на треноге в храме Апполона и выдавала свои пророчества под влиянием эманации газов из трещин в горных породах. Правда, есть предание и о том, что под треногой сжигали лавровые листья. Лавр — дерево, посвященное Апполону, которого считали покровителем Дельф. И от дыма тлеющих лавровых листьев жрица впадала в транс, выкрикивая несвязные слова. О Дельфийском оракуле впервые поведал Гомер, а через семь веков о нем написал Плутарх.

Дельфы находятся к западу от Афин, у подножия знаменитой горы Парнас на северном берегу Коринфского залива. Подозрение, что в основе мифа о Дельфийском оракуле лежат какие-то геологические особенности данной местности, возникло давно, а недавно изучение этой



Развалины храма Аполлона в Дельфах.

проблема предприняла специальная итальянская экспедиция, собравшая все геологические, геофизические и геохимические данные [4]. При этом выяснилось, что Дельфы с их тремя древними храмами расположены на линии молодого широтного разлома — сброса, ограничивающего с юга гору Парнас, представляющую собой фрагмент раннемеловой карбонатной платформы. Этот сброс одновременно является и наиболее северным из системы сбросов северного ограничения грабена Коринфского залива, возникшего в самом конце плиоцена (около 2 млн лет назад). Дельфийский разлом сейсмически весьма активен. В историческое время вдоль него неоднократно

происходили землетрясения и возобновлялись трещины в породах и в грунте. На одной из них непосредственно и расположен храм Аполлона в Дельфах [5]. Поэтому весьма логично предположить, что именно к этой или другой из трещин данного разлома были приурочены явления, давшие повод включить в легенду о Дельфийском оракуле рассказ об обитавшем в расселине драконе женского рода, извергавшего ядовитые испарения и убитого Аполлоном.

Изложенное выше позволяет думать, что многие мифы, сказания, легенды основаны на вполне реальных природных событиях, геологических явлениях и катастрофах. У геомифологии — большое будущее. ■

Литература

1. Bentor Y.K. // Terra Nova. 1990. №1. P.326—338.
2. Myth and Geology / Eds L.Piccardi, W.B.Musse. L., 2002.
3. Рол Д. Генезис цивилизации. М., 2002.
4. Piccardi L., Monti C., Vasseli O. et al. // J. Geol. Soc. London. 2008. V.165. P.5—18.
5. Силкин Б.И. Геофизика обращается к оракулу // Природа. 2002. №4. С.3—5.



Электричество под микроскопом

А.Л.Толстихина, К.Л.Сорокина, Н.В.Белугина, Р.В.Гайнутдинов

Нанотехнологическая революция сулит появление принципиально новых приборов, служащих невиданным ранее целям. Но на старт ее вывело в первую очередь стремление все дальше и дальше миниатюризировать электронные устройства, уже существующие. Среди них и привычные носители цифровой информации — идет гонка в создании материалов, которые обеспечат более плотную запись и длительное хранение данных. Одна из идей здесь — заменить магнитную запись электрической: кодировать информацию не намагниченностью, а поляризацией. Что если заставить служить информационным элементом домен с определенным направлением не магнитного момента, как это происходит в ферромагнетиках, а дипольного (электрического) момента, в макроскопических масштабах называемого вектором поляризации? Подходящие материалы природа нам предоставила — это так называемые сегнетоэлектрики*, класс диэлектрических веществ, в которых при температурах ниже температуры Кюри происходит спонтанная (самопроизвольная) поляризация. Если научиться получать регулярные

* Сегнетоэлектрики — отечественное название, унаследованное от сегнетовой соли, в которой впервые была обнаружена спонтанная поляризация. В зарубежной литературе они известны как ферроэлектрики.

© Толстихина А.Л., Сорокина К.Л., Белугина Н.В., Гайнутдинов Р.В., 2009

структуры из сегнетоэлектрических доменов на микро- и наноскопическом уровне (строить «доменную архитектуру»), можно рассчитывать на запись информации с плотностью до 100 Гб/см². Подобные структуры пригодятся и в области нелинейной оптики, например для преобразования частот лазерного излучения. Но для таких работ нужен соответствующий инструментарий — как «строительный», для целенаправленного воздействия на объект, так и «контролирующий», для регистрации интересующих нас характеристик. Оказывается, в наличии есть и он — это широко известный теперь атомно-силовой микроскоп.

Альтиметр для наномира

Для наших целей принципиально, что атомно-силовая микроскопия (АСМ) в отличие от своей предшественницы — сканирующей туннельной микроскопии — способна работать с не проводящими электрический ток образцами. Сегодня АСМ, получившая за 20 с небольшим лет своего существования множество различных воплощений, помогает не только видеть рельеф поверхности, но и фиксировать «поточечное» распределение значений ряда физических величин. Напомним, что измерительным датчиком при этом служит зонд микроскопа — гибкая миниатюрная балка (кантилевер), несущая на конце

заостренный «щуп» — иглолку (острие) с радиусом закругления кончика на уровне единиц нанометров (рис.1). Острие кантилевера «ощупывает» поверхность точка за точкой (пьезокерамический манипулятор — сканер — обеспечивает точность позиционирования по горизонтальным осям вплоть до долей нанометра). Взаимодействие острия с поверхностью заставляет кантилевер изгибаться; его перемещение по вертикали контролируется по отражению лазерного луча с точностью до тысячных долей нанометра. Информация об отклонении зонда ложится в основу построения изображения поверхности. В зависимости от материала зонда (проводящий — непроводящий, магнитный — немагнитный), расстояния до поверхности и ее состояния, на движении зонда могут сказываться разнообразие силы — межмолекулярного, электрического, магнитного взаимодействий, капиллярные силы и т.д. С одной стороны, это и открывает возможность измерять разные силовые характеристики, строя своего рода карты — распределения их значений по поверхности. С другой — складываясь при своем воздействии на зонд, различные силы дают интегральный эффект, и зачастую разделить их вклады в формирование контраста на изображении-«карте» совсем не просто. Возникает проблема интерпретации получаемых в АСМ изображений: важно правильно

понять, какие именно особенности поверхности нашли свое отражение на картинке. В этом помогают различные режимы и модификации АСМ.

Прямую информацию о рельефе поверхности дает контактный режим. В соответствии с названием здесь предполагается постоянный контакт острия с поверхностью: кантилевер с некоторой нагружающей силой прижимается к образцу, т.е. острие «царапает» поверхность (что, правда, может повредить некоторые объекты — например, органические пленки). В таком случае определяющим взаимодействием становятся силы взаимного отталкивания атомов острия и поверхности. Поддерживая их постоянными (система обратной связи в управлении вертикальным смещением зонда отслеживает упругий изгиб кантилевера) и считая, что силы одинаковы на одинаковой высоте, получаем топографическое изображение. Этими данными, собственно, возможности контактного режима и исчерпываются. Возможности богаче (а вдобавок и разрешение при измерении сил выше, и круг исследуемых объектов шире) у вибрационных методик. В прерывисто-контактном режиме кантилевер совершает свободные колебания (вибрирует) вблизи поверхности, слегка касаясь ее в нижней точке траектории. В этом случае между атомами острия и поверхности действуют смешанные силы, преимущественно притягивающего характера (ван-дер-ваальсовы, электростатические, капиллярные). В присутствии внешних сил меняется резонансная частота колебаний кантилевера, и по изменениям характеристик колебаний можно контролировать градиент действующей силы. Обратная связь в данном случае поддерживает постоянными амплитуду колебаний зонда (амплитудная модуляция) или сдвиг его резонансной частоты (частотная модуляция), и таким образом определяются точки,



Алла Леонидовна Толстихина, кандидат физико-математических наук, заведующая сектором сканирующей зондовой микроскопии Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Научные интересы связаны с развитием методов атомно-силовой микроскопии и исследованием с их помощью структуры и свойств поверхностей объектов различной природы.



Кира Львовна Сорокина, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института, редактор отдела физики журнала «Природа». Область научных интересов — физические процессы на поверхности кристаллов и тонких пленок.



Наталья Васильевна Белугина, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Специалист в области физики сегнетоэлектричества и реальной структуры кристаллов.



Радмир Вильевич Гайнутдинов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается применением сканирующей зондовой микроскопии для изучения поверхностных характеристик разнообразных объектов и целенаправленной модификации поверхности.

равноудаленные от поверхности (градиент силы в них одинаков). За контраст топографического изображения отвечают межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса. Но если на поверхности присутствуют электрические заряды, в игру вступает дальнедействующее электростатическое притяжение между ними и заря-

дами, индуцированными их полем на острие. Благодаря «довеску» к силе та же амплитуда (или частота) колебаний будет регистрироваться на другой высоте — топографическое изображение исказится. Это отчетливо продемонстрировано в работе [1]: пятно заряда на поверхности оксида кремния имитирует холмик —

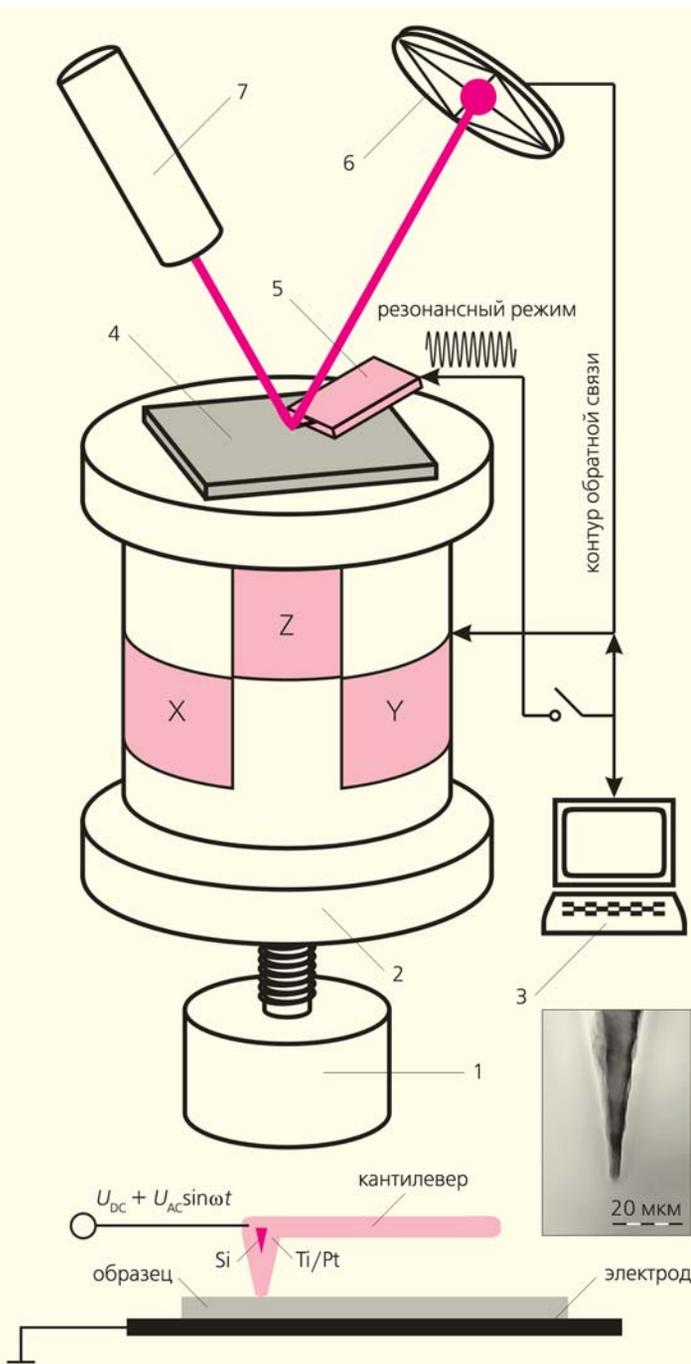


Рис.1. Схема атомно-силового микроскопа. Кантилевер длиной 100—400 мкм и сечением около 3×30 мкм заканчивается острием длиной 15—20 мкм. Пьезокерамический сканер перемещает образец относительно кантилевера, проходя последовательно точку за точкой. В каждой точке скана вертикальное отклонение кантилевера детектируется оптически с помощью фотодетектора. В вибрационных режимах колебания кантилевера возбуждаются механически; при исследовании электрических характеристик поверхности образца между ним и зондом подается напряжение $U_{DC} + U_{AC} \sin \omega t$, как показано внизу. 1 — шаговый двигатель; 2 — пьезосканер; 3 — блок управления; 4 — образец; 5 — чип с кантилевером на конце; 6 — позиционно-чувствительный фотодиод; 7 — лазер. На вставке внизу справа приведено электронно-микроскопическое изображение острия зонда.

на топографическом изображении эта область выглядит возвышающейся над окружением. В литературе даже прижился термин «кажущаяся высота» (apparent height), который отражает зависимость измеренной высоты от условий эксперимента, в том числе электрических [1, 2]. И особенно непредсказуемым может оказаться влияние поверхностного заряда при исследовании диэлектриков.

Эти коварные заряды

На поверхности диэлектриков (и полупроводников, покрытых слоем окисла) электрические заряды появляются довольно часто — это всем известное статическое электричество [3]. Оно возникает в результате трения объектов, в частности в процессе полировки диэлектрических поверхностей, индукции от заряженных объектов, обдувания воздушными потоками, даже просто нахождения в сухой воздушной среде или хранения образцов в изолирующих контейнерах — список причин можно продолжить. В том числе и сканирование гетерогенной электрически неоднородной поверхности зондом может способствовать разделению электрических зарядов, которым в отсутствии проводимости не удастся «стекать». Получается, что в ходе эксперимента состояние поверхности изменяется неконтролируемым образом, что отражается на результатах и искажает получаемую информацию.

Как показывает практика, при работе атомно-силовых микроскопов на воздухе условия окружающей среды заметно влияют на качество регистрируемых изображений. Чтобы уменьшить это влияние, в секторе сканирующей зондовой микроскопии Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН (ИК РАН) в сотрудничестве с Исследовательским центром прикладной ядерной физики (ИЦПЯФ) Росатома был разра-

ботан и построен климатический бокс «TRACKPORE ROOM», рис.2. Он позволяет поддерживать желаемые параметры среды (температуру — в диапазоне 20–30°C с точностью $\pm 0.05^\circ$, относительную влажность — в интервале 30–70% с точностью $\pm 1\%$) и дополнительно очищать воздух с помощью фильтров на основе трековых мембран (чистая зона соответствует классу ИСО (100000)). В боксе были размещены атомно-силовые микроскопы Solver P4-SPM-MDT и NTEGRA Prima (НТ-МДТ, Зеленоград), блоки управления которыми были вынесены за пределы рабочего помещения. В сочетании с виброзащитой высокой степени эти меры создали условия для прецизионных измерений на наноструктурированных поверхностях. Стало возможным подробно исследовать роль заряда на поверхности диэлектриков в формировании топографического изображения. Поначалу результаты казались обескураживающими.

Были исследованы поверхности диэлектриков различной природы — неорганических пленок (MoO_3), органических пленок (пленки Ленгмюра—Блоджетт на основе жирных кислот



Рис.2. Так выглядит изнутри климатический бокс «TRACKPORE ROOM», который позволяет проводить АСМ-измерения в контролируемых условиях окружающей среды.

и их производных), массивных образцов (полированные сверхгладкие подложки из ситалла), изображения которых были зарегистрированы в прерывисто-контактном режиме. Детали эксперимента можно найти в [4]. И во всех случаях наличие статического заряда приводило к драматическим последствиям для качества изображений: на

них либо появлялись отдельные шумовые всплески (белые штрихи на рис.3,*а*), либо возникало общее размытие, скрывающее подлинную микроструктуру (рис.4,*а*). Всплески на рис.3,*а* (подъем высоты по отношению к соседним областям в них составляет до 120 нм) не отражают реальной особенности рельефа: их число и интенсивность меня-

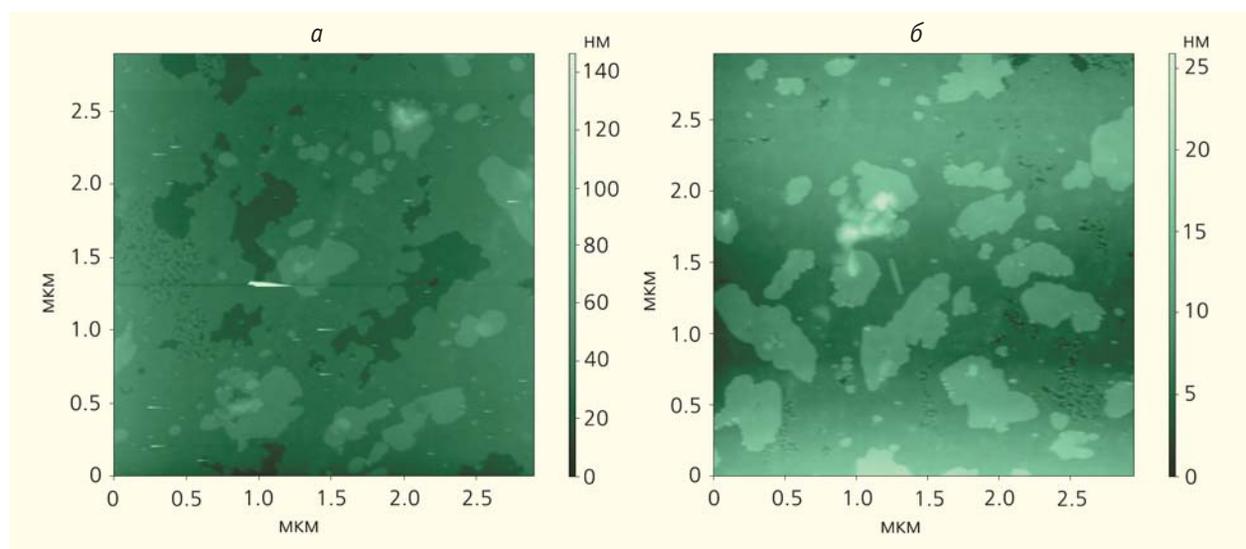


Рис.3. Топографические изображения поверхности ЛБ-пленки стеарата гадолиния. Первоначальное изображение искажено шумовыми всплесками сигнала (белые штрихи, *а*). После снятия электростатического заряда эти искажения исчезают (*б*).

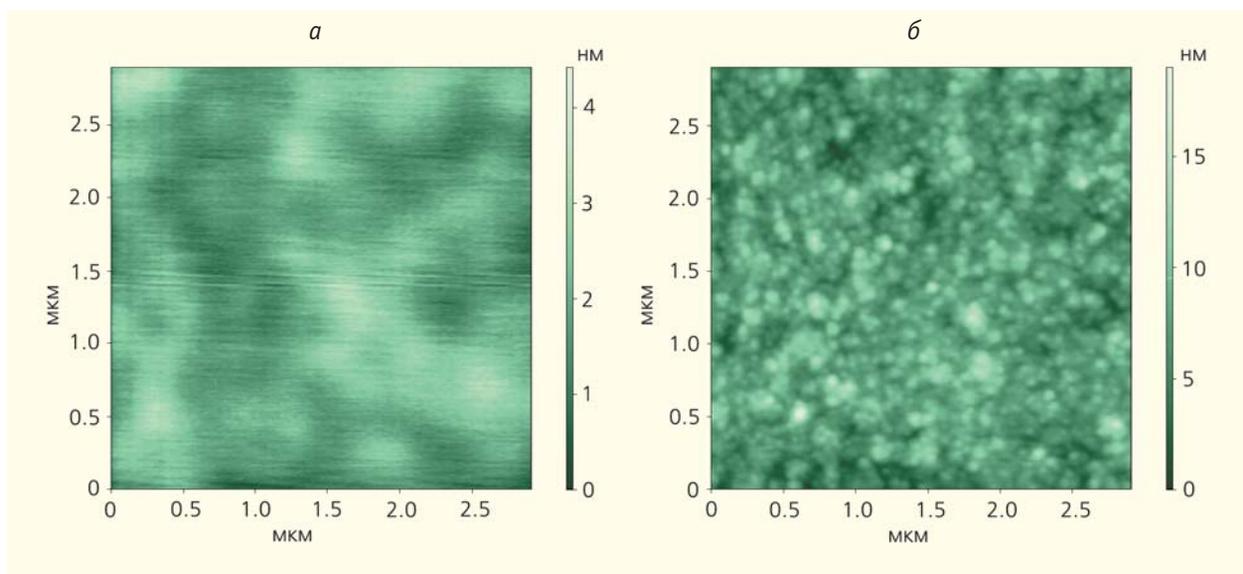


Рис.4. Топографические изображения поверхности пленки MoO_3 в условиях обычной съемки (а) и после операции по снятию заряда с поверхности (б). Видно, что в присутствии заряда видимая структура сильно размывается.

ются в зависимости от температуры и влажности среды. Роль общего размытия становится критической для сверхгладких поверхностей — оно способно замаскировать даже такую крупную деталь рельефа, как царапину [4]. То, что подобные черты изображений связаны именно с электростатическим взаимодействием, доказывает характер так называемых амплитудных кривых — зависимостей амплитуды колебаний кантилевера от расстояния при подводе зонда к поверхности. Эти кривые радикально отличаются друг от друга при отсутствии и наличии статического заряда на поверхности. В первом случае, когда кантилевер движется под действием только силы Ван-дер-Ваальса, кривая имеет вид крутой ступеньки. Во втором на ней появляется пологий участок, который свидетельствует о вкладе силовой составляющей, гораздо медленнее убывающей с расстоянием, — электростатического взаимодействия между зарядом на поверхности и индуцированным им зарядом на острие.

Итак, на полученных изображениях подлинная топография рельефа серьезно искажена.

Но не все так плохо, как кажется на первый взгляд, — зная причину искажений, можно попытаться ее устранить. И действительно, манипулируя параметрами климата в боксе, мы смогли адаптировать для АСМ известный в полиграфии способ снятия статического заряда с помощью увлажнения воздушной среды. В результате была разработана специальная методика, которая дала возможность избавиться как от точечных всплесков, так и от общего размытия изображения и восстановить подлинную микроструктуру (рис.3,б, рис.4,б). Процесс снятия заряда можно наблюдать в режиме реального времени в ходе сканирования [4]. После процедуры снятия заряда измеряемые параметры рельефа (в первую очередь размах высот — перепад между самыми низкими и высокими точками поверхности, размер зерна) перестают зависеть от условий эксперимента и отражают реальные значения. По отношению к измеренным при наличии заряда они могут измениться в несколько раз!

Любопытно, что если точечные искажения (всплески) при-

водят к завышению размаха высот, то общее размытие изображения, наоборот, размах занижает. Этот факт можно понять исходя из того, что отдельные шумовые всплески сигнала и общее его сглаживание отражают два предельных случая распределения статического заряда. Первый отвечает локализованному заряду, который можно представить точечным кулоновским центром. Здесь работает уже упомянутый механизм: электростатическое взаимодействие складывается с силой Ван-дер-Ваальса в ограниченной области, и большая величина действующей силы заставляет обратную связь отводить зонд от поверхности на большие расстояния. Идет сигнал о выступе на поверхности (зонд видит то, чего на самом деле нет), и экспериментально измеряемый размах высот оказывается завышенным по отношению к реально существующему. Второй случай можно смоделировать равномерно заряженным слоем. Из-за действия электростатической силы на больших расстояниях по сравнению с силой Ван-дер-Ваальса острие эффективно взаимодействует с большей пло-

щадь поверхности, и АСМ-изображение размывается. Интегральный эффект взаимодействия с большей площадью нивелирует тонкие детали рельефа (зонд, наоборот, не замечает того, что есть), и измеряемый размах высот становится меньше существующего в действительности. Снятие же статического заряда благополучно восстанавливает статус-кво для обоих вариантов. Критический линейный масштаб влияния статического заряда оказывается много больше радиуса закругления острия [4]. Это выдвигает проблему возникающих из-за заряда искажений при исследовании участков диэлектрических поверхностей в микро- и наномасштабах на первый план.

Теперь, вооружившись адекватной процедурой работы с диэлектриками, можно вернуться к нашим доменам.

Домен домену рознь

Сегнетоэлектрики, как уже упоминалось, способны самопроизвольно поляризоваться, т.е. приобретать в макромасштабах дипольный момент. Происходит это в сегнетоэлектрической фазе, которая образуется в ходе фазового перехода. Кристаллическая решетка изменяется очень незначительно: ионы лишь слегка меняют свои положения, «разводя» положительный и отрицательные заряды. Вектор поляризации определенным образом ориентирован относительно кристаллографических осей и в одноосных кристаллах может быть направлен либо в одну, либо в противоположную сторону. Обычно кристалл разбивается на домены с тем или иным направлением момента (их называют положительными и отрицательными), домены зарождаются, растут, умирают — на них влияют такие внешние факторы, как температура и электрическое поле. Это вселяет надежду, что течением их жизни можно управлять.

Но прежде надо разобраться, как их увидеть с помощью АСМ: ведь от электростатических эффектов здесь не избавиться — они как раз и есть предмет исследования.

Разбираться с истинным содержанием топографических изображений сегнетоэлектриков проще на примере хорошо исследованного модельного материала. В качестве такового с успехом выступает триглицинсульфат (ТГС). Этот органический сульфат с моноклинной кристаллической решеткой удобен тем, что имеет плоскость спайности (по которой легко раскалывается), перпендикулярную сегнетоэлектрической оси (вдоль которой направлен вектор поляризации), в данном случае — оси *b*. Расколов кристалл в сегнетофазе, мы получим своего рода поперечное сечение доменной структуры. А в сегнетофазе кристаллы ТГС находятся при комнатной температуре, что тоже очень удачно. Температура Кюри, выше которой кристалл переходит в парафазу, повышая свою симметрию и теряя поляризацию, составляет для ТГС 49.5°C — это делает наблюдение «жизненного пути» (динамики) доменов экспериментально несложным. Сами же домены в этом материале имеют чаще всего легко узнаваемую линзовидную форму.

И действительно, уже в ранних работах, использовавших АСМ [5, 6], на полярной поверхности скола кристалла ТГС были обнаружены линзовидные образования, которые все сразу же были приняты за домены. Правда, контраст на АСМ-изображениях оказывался разного типа: области, по форме напоминающие линзу, могли быть отделены от остального фона только благодаря своим ярким границам [5], но случалось, что такие области (в аналогичных условиях) выделялись за счет декорирования ямками (фон, наоборот, был покрыт островками) [6]. В чем же причина раз-

личного отображения доменной структуры? Если, конечно, на изображениях действительно видны домены.

Нам тоже пришлось столкнуться для ТГС с разнообразными вариантами контраста поверхности структуры. Наблюдалась и яркие границы (рис.5,*а*), и пояса островков и ямок (рис.5,*б*), причем в разных сочетаниях [7]. Границы как светлые контуры были видны лишь в прерывисто-контактном режиме, а в контактном (на том же участке поверхности) не проявлялись. Более светлый тон по общепринятому соглашению отвечает на АСМ-изображениях большей высоте, т.е. получается, что в первом случае на границе идет сигнал о заметном выступе, а во втором выступ не обнаруживается. Этот парадокс легко объясним, если вспомнить, что на подобные фокусы с кажущейся высотой способно электростатическое взаимодействие и что электростатические эффекты вполне ожидаемы на полярной поверхности. Но в ряде случаев перепад высот между линзовидными деталями рельефа и остальной поверхностью регистрировался и в контактном режиме. С кристаллами ТГС мы работали в контролируемых условиях климатического бокса TRACKPORE ROOM, так что элемент неопределенности, связанный с условиями эксперимента, был исключен. Исследовались поверхности кристаллов, расколотых непосредственно перед записью изображения, но в качестве исходных кристаллов выступали, во-первых, образцы со стажем (состаренные), которые «прожили» с момента их выращивания значительное время (вплоть до нескольких лет), и во-вторых, отоженные при температуре 110°C в течение 3 ч, что возвращало их историю к чистому листу. Такой выбор был неслучаен.

Еще 40 лет назад для состаренных кристаллов ТГС были описаны области «памяти» доменов [8] — участки кристалла,

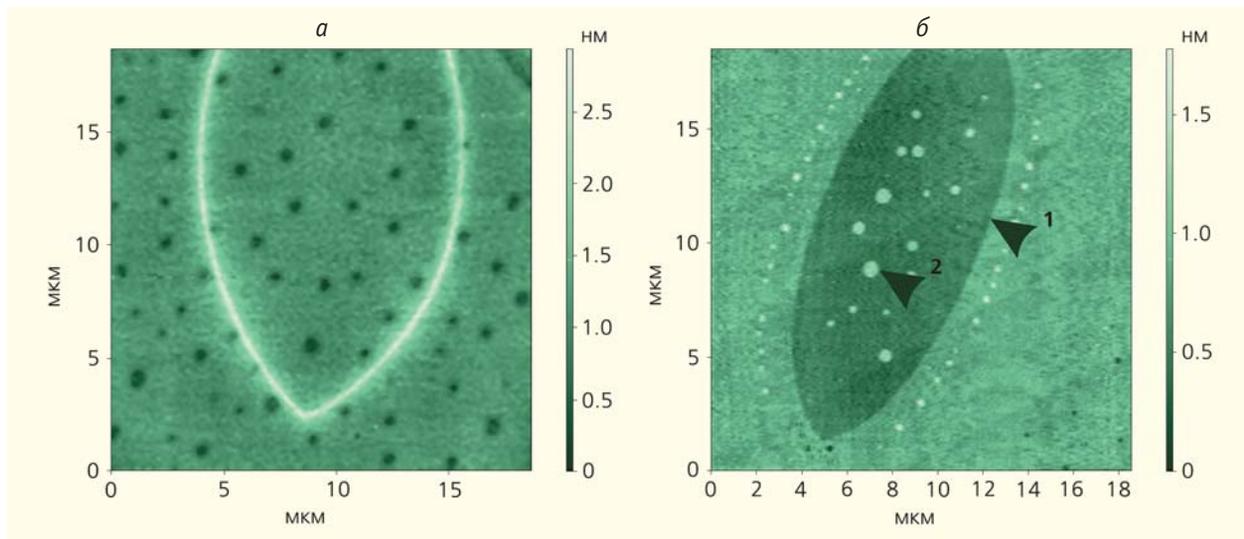


Рис.5. Топографическое изображение полярной поверхности кристалла ТГС с линзовидным образованием, выделяющимся за счет контраста разного рода: яркой границы (а) и элементов ступенчатого рельефа — темной впадины (1) и светлых островков (2) (б).

в которых существовали домены и структура их оказалась зафиксированной из-за присутствия примесей; они стали источниками электрической неоднородности, «вшитыми» в объем кристалла. Подобная стабилизация структуры затрудняет дальнейший рост или исчезновение доменов, их переполаризацию — эти процессы становятся воз-

можными лишь при дополнительных внешних воздействиях. И именно для состаренных образцов мы наблюдали различные элементы ступенчатого рельефа (рис.5,б). Контраст здесь формируется за счет разного уровня поверхности внутри линзы и вне ее. Глубина темной впадины составляет 1/2 величины постоянной решетки по оси *b*, как и вы-

сота пояса островков вокруг нее. Таково особое свойство поверхностей раскола кристалла ТГС — отражать электрическую неоднородность объема кристалла, закрепленную примесями, в виде своеобразного рельефа (линзовидных выступов и округлых островков или ямок). Проявляющиеся при расколе области памяти доменов — «мертвые» доме-

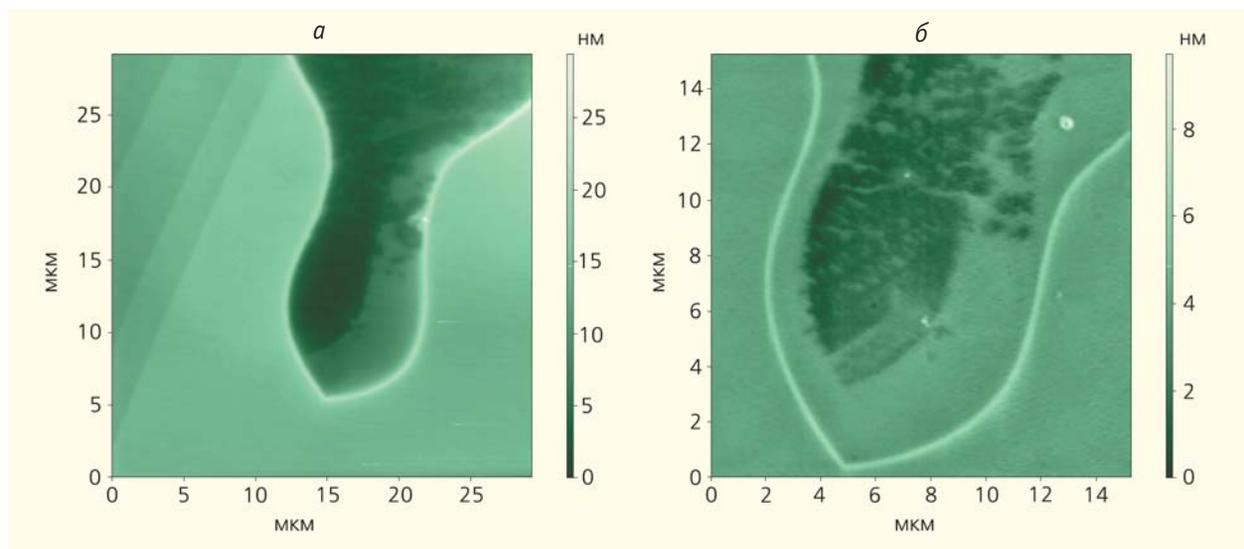


Рис.6. Топографическое изображение полярного скола состаренного кристалла ТГС. Здесь контраст обоих типов (яркие линии и перепады высот) присутствует одновременно. Но если сначала контуры образования, выделенного обоими способами, совпадают (а), то в дальнейшем реально существующий домен начинает расширяться, тогда как область «памяти» домена остается «замороженной» (б, сканирование проведено через 1 ч 20 мин).

ны, их границы (стенки) как бы заморожены, они не сдвигаются при приложении электрического поля, повышении температуры. Наоборот, домены, выделяющиеся только контрастом на стенках, — домены «живые», с помощью АСМ хорошо видно, как их стенки «дышат» во времени (рис.6), например под действием поля и нагрева [7].

Итак, одна лишь форма не может служить надежным признаком того, что на изображении виден реально существующий домен. И здесь пора вспомнить, что современные приборы АСМ способны контролировать не только высотный рельеф поверхности. Как уже говорилось, сам принцип силового взаимодействия подразумевает участие в движении зонда различных сил, и хотя при топографических исследованиях электростатические силы служат помехой, в подходящих условиях они сами могут стать источником информации.

Электрический взгляд

На сегодняшний день существует целый ряд специальных модификаций АСМ, нацеленных на изучение электрических свойств поверхности, хотя они пока не получили столь же широкого распространения, как классическая топографическая АСМ: электростатическая силовая микроскопия, сканирующая микроскопия Кельвина, микроскопия пьезоотклика, микроскопия сопротивления растекания и др. Их общий принцип — подача напряжения между поверхностью и зондом (который обязательно должен быть проводящим), как это показано на рис.1. Электрическое поле, существующее в окрестности острия вблизи поверхности образца, будет зависеть от ее зарядового состояния, поверхностного потенциала (между зондом и образцом, связанными электрическим контактом, всегда образуется так называемая кон-

тактная разность потенциалов, определяемая особенностями электронной зонной структуры каждого из них). Электростатическую силу, которая в итоге действует на зонд, можно найти, если выделить ее вклад в отклонение кантилевера. Но более эффективным снова оказывается определение градиента силы — по изменению характеристик колебаний кантилевера в прерывисто-контактном режиме, которое вызвано сдвигом резонансной частоты в присутствии дополнительной силы. Именно так достигается атомное пространственное разрешение [9]. Есть и другой вариант — исходить из амплитуды колебаний кантилевера, приложив между ним и образцом переменное напряжение. Если частота приложенного напряжения совпадает с резонансной частотой собственных колебаний кантилевера, эта амплитуда прямо пропорциональна спектральной компоненте силы на данной частоте [10]. Изображения с подобным контрастом, т.е. представляющие собой распределение по поверхности переменных составляющих электростатического взаимодействия, строятся в электростатической силовой микроскопии, которая в свое время начиналась с попыток получить «зарядовое» изображение поверхности [11]. В принципе из таких данных можно извлечь и информацию о поверхностном потенциале, но это не так просто. К счастью, есть способ измерить его величину напрямую: это делает сканирующая микроскопия Кельвина. Как показывает анализ, если скомпенсировать поверхностный потенциал, подав между зондом и образцом в дополнение к переменному еще и постоянное напряжение, равное по величине и противоположное по знаку контактной разности потенциалов, колебания на частоте переменной составляющей напряжения прекратятся. Вкратце схема метода выглядит так (подробнее о специальных

модификациях АСМ для измерения электрических характеристик можно прочитать в [10, 12]). Сначала, в ходе первого сканирования, снимается обычное топографическое изображение. Затем отключается обратная связь, прекращается механическое возбуждение колебаний, зонд немного отводится от образца (на расстояние до десятков нанометров), и второе сканирование проводится на постоянной высоте (острие идет по траектории, повторяющей рельеф). Теперь подается напряжение $U_{dc} + U_{ac}\sin\omega t$, и новая обратная связь, уже по регулируемому смещению U_{dc} , подбирает его величину так, чтобы сигнал на частоте ω отсутствовал. Найденные обратной связью значения и дают «потенциальное» изображение поверхности.

Именно этим методом была раскрыта электростатическая сущность островков на топографических изображениях поверхности окисла, о чем упоминалось выше [1]. Очень информативными оказываются результаты подобных исследований и для сегнетоэлектриков. Реально существующие домены сразу выдают свое присутствие на изображениях, полученных методами сканирующей микроскопии Кельвина, электростатической силовой микроскопии, микроскопии пьезоотклика, хотя и разным образом (рис.7). В первом и последнем случаях выделяется весь домен целиком — контраст образуется за счет того, что знак домена противоположен знаку окружающей матрицы, в которой он расположен. Напротив, электростатическое изображение реагирует только на сам факт смены знака заряда на поверхности, обладая контрастом лишь на границе домена. «Мертвые» домены такого выраженного контраста не имеют, хотя и отличаются по величине потенциала от окружающей матрицы. Граница реального домена может быть обнаружена также методом отображения сопротивления растекания: как нам впер-

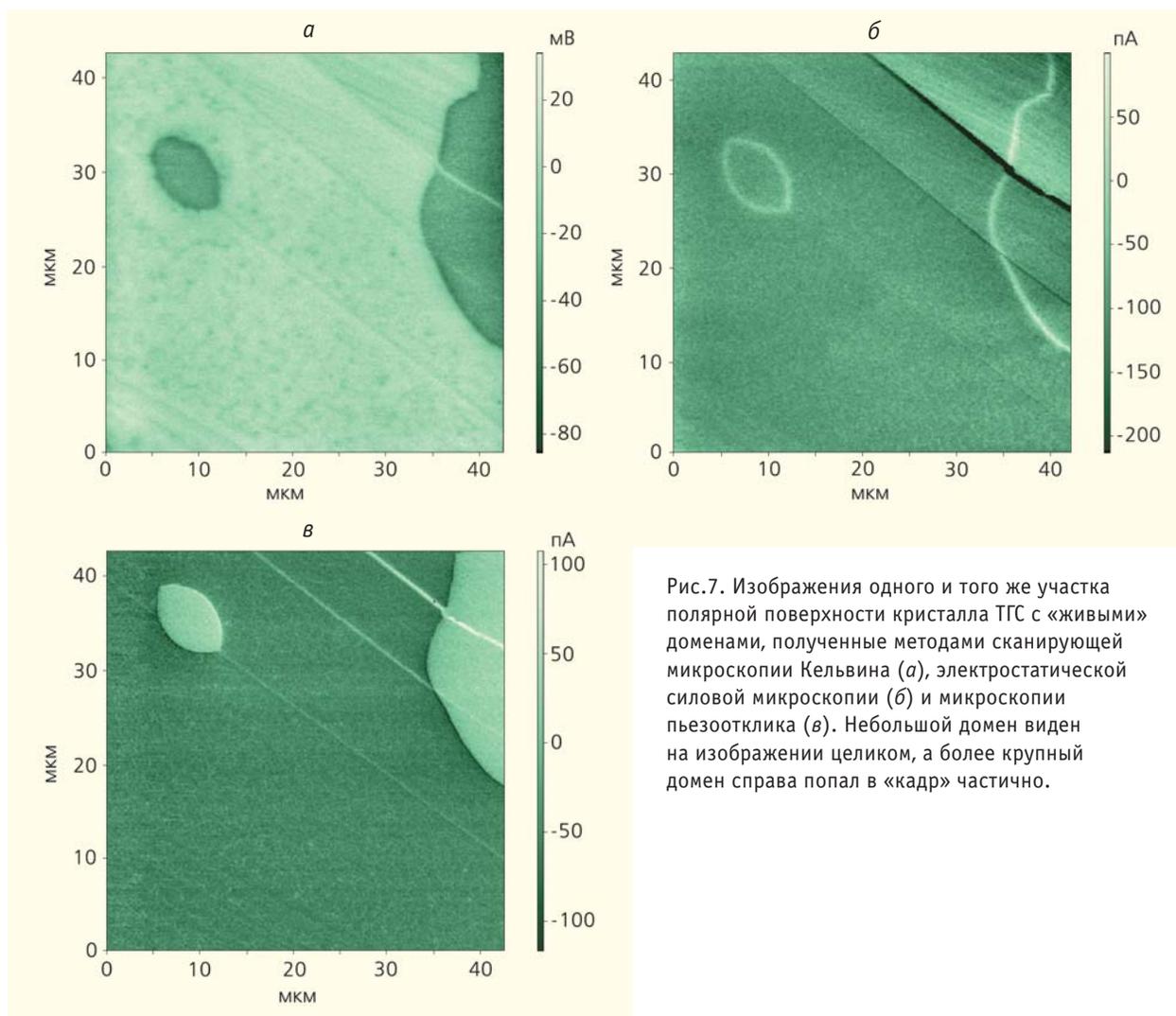


Рис.7. Изображения одного и того же участка полярной поверхности кристалла ТГС с «живыми» доменами, полученные методами сканирующей микроскопии Кельвина (а), электростатической силовой микроскопии (б) и микроскопии пьезоотклика (в). Небольшой домен виден на изображении целиком, а более крупный домен справа попал в «кадр» частично.

вые удалось показать [7], она обладает повышенной проводимостью. Границы областей памяти доменов таким свойством не отличаются. Что очень важно, все эти методики позволяют изучать «живые» домены в режиме реального времени: можно следить за изменением их характеристик, за динамикой движения доменных стенок, снимая своего рода видеоролики.

Научившись находить на изображениях домены и определять их параметры, можно наконец обратиться к задаче поиска среды — строительного материала для «доменной архитектуры». И АСМ здесь становится не только «камерой наблюдения», но и тем орудием, которое необходимую структуру строит. Точ-

нее, орудием служит электрическое поле: если создать достаточное по величине, нужного направления поле у поверхности, можно вызвать управляемую переполяризацию. Острие зонда прекрасно подходит на роль электрода для этой цели, так как напряженность поля вблизи острия заметно выше, чем у плоского электрода при том же напряжении, само поле в значительной степени локализовано, и «доставить» его можно к желаемой точке поверхности.

На закуску

К сожалению, столь удобный в исследованиях триглицинсульфат не сохраняет конфигу-

рацию доменов достаточное время. Подходящими характеристиками обладают ниобат и танталат лития, но они требуют очень высоких электрических полей для переполяризации (более 200 кВ/см), что создает технологические трудности. А вот у кристаллов твердых растворов ниобата бария-стронция (НБС) эти поля на два порядка ниже (1–2 кВ/см) — вполне достижимые в АСМ значенения. И действительно, нам удалось впервые произвести запись микродоменов в сегнетоэлектрических кристаллах НБС при помощи АСМ (рис.8). Острие размещалось над выбранной точкой поверхности, к нему прикладывался одиночный импульс постоянного напря-

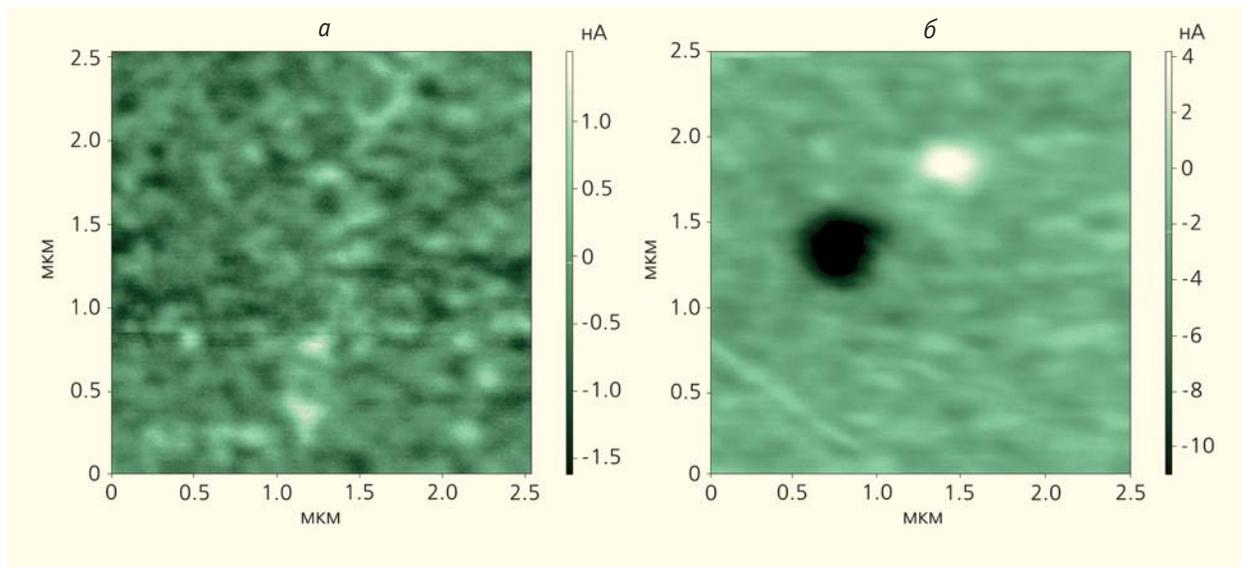


Рис.8. Исходное распределение поверхностного потенциала в полидоменном кристалле НБС (а) и домены, созданные в двух точках поверхности при приложении к зонду напряжения, одинакового по величине, но противоположного по знаку (± 9 В в течение 5 мин, б). Заметное различие площадей доменов связано с разной исходной поляризацией в выбранных точках.

жения с заданными величиной из диапазона 1–10 В и длительностью от 5 мс до 10 мин. После такой «электрической акупунктуры» проводилось исследование данного участка поверхности в режиме микроскопии пьезоотклика [13]. На изображениях отчетливо проявляются одиночные домены, возникшие на исходно полидоменной поверхности (рис.8). Были установлены важные законо-

мерности — как площадь доменов зависит от величины напряжения и времени его приложения, какова кинетика распада доменов после выключения поля. Характеристики динамики доменных стенок оказались неклассическими, что связано с неоднородным пространственным распределением поля зонда [13].

Подводя итоги, можно смело утверждать: кристаллы НБС —

в самом деле перспективный объект для создания структур из доменов на микро- и наноскопическом уровнях. Мы осуществили запись регулярной доменной структуры с периодом от 1 до 10 мкм. Предлагаемая технология получения регулярной поверхностной доменной структуры на базе НБС может послужить прототипом для дальнейших разработок «доменной архитектуры».■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-02-00600) и грантов Президента РФ НШ-5133.2006.2, НШ-1955.2008.2.

Литература

1. Boer E.A., Bell L.D., Brongersma M.L. et al. // Appl.Phys.Lett. 2001. V.78. P.3133–3135.
2. Stark R.W., Naujoks N., Stemmer A. // Nanotechnology. 2007. V.18. P.065502(1).
3. Хорват Т., Берта И. Нейтрализация статического электричества. М., 1987.
4. Толстихина А.Л., Гайнутдинов Р.В., Занавескин М.Л., Сорокина К.Л., Белугина Н.В., Грищенко Ю.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008. №9. С.48–52.
5. Lutbi R., Meyer E., Howald L. et al. // J. Vac. Sci. Technol. 1994. V.B12. P.1673–1676.
6. Eng L.M., Friedrich M., Fousek J., Gunter P. // Ferroelectrics. 1996. V.186. P.49–52.
7. Гайнутдинов Р.В., Белугина Н.В., Толстихина А.Л., Лысова О.А. // Кристаллография. 2007. Т.52. №2. С.348–353.
8. Дистлер Г.И., Константинова В.П., Власов В.П. // Кристаллография. 1969. Т.14. С.90–94.
9. Kitamura S., Suzuki K., Iwatsuki M., Mooney C.B. // Appl. Surf. Sci. 2000. V.157. P.222–227.
10. Sarid D. Scanning Force Microscopy with Applications to Electric, Magnetic and Atomic Forces. N.Y., 1994.
11. Terris B.D., Stern J.E., Rugar D., Mamin N.J. // Phys. Rev. Lett. 1989. V.63. P.2669–2672.
12. Сорокина К.Л., Толстихина А.Л. // Кристаллография. 2004. Т.49. С.541–565.
13. Гайнутдинов Р.В., Волж Т.Р., Толстихина А.Л., Ивлева Л.И. // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т.86. С.299–303.

Многоликий радикал, ИЛИ Новое в науке об аэроионах

Н.И.Гольдштейн, Р.Н.Гольдштейн

Среди выдающихся открытий немного таких, отношение к которым многократно менялось на диаметрально противоположное. Эйфорией, разочарованиями, заблуждениями, а порой шарлатанством и мистикой насыщена история изучения физических носителей атмосферного электричества — аэроионов (газовых частиц, несущих положительный или отрицательный заряд). Открыли их немецкие физики Ю.Эльстер и Г.Гейтель и англичанин Ч.Т.Р.Вильсон на рубеже XIX и XX вв. Однако полутора веками раньше Ж.-Б.Ламарк уже предполагал существование некоего «электрического флюида», который, проникнув в организм, преобразуется в «нервный флюид», свойственный всем живым существам. Хотя теория электрического флюида давно канула в Лету, догадка Ламарка оказалась удивительно созвучной современным представлениям о биологическом действии аэроионов. Их влияние на состояние нервной и эндокринной систем, обмен веществ, состав и свойства крови обнаружено в 1930—1980-е годы — период наиболее интенсивных исследований аэроионов [1, 2]. Тем не менее вряд ли они стали бы широко известны, не будь выявлены у отрицательно заряженных аэроионов (ОАИ) лечебные свойства,

© Гольдштейн Н.И., Гольдштейн Р.Н., 2009



Наум Исаакович Гольдштейн, доктор биологических наук, руководитель научного отдела «Dr. Goldstein & Partner» (Берлин), старший научный эксперт германского отделения интернациональной организации «Senior Experten Service». Область научных интересов — биофизика, физиология и биохимия животных. Изучением роли активных форм кислорода в жизнедеятельности организма занимается с 1970-х гг.



Роман Наумович Гольдштейн, директор «Dr. Goldstein & Partner» (Берлин). Область научных интересов — математические методы в биологии и медицине, фармакология активных форм кислорода.

в том числе при терапии бронхиальной астмы и гипертонии.

Благотворное действие ОАИ на организм впервые отметил известный российский ученый А.Л.Чижевский еще в 30-х годах минувшего столетия [3], но до сих пор, несмотря на десятилетия исследований, отношение к ОАИ неоднозначно: сторонники идеи считают их панацеей, противники (как правило, из академической науки) выража-

ют сомнения в их биологической активности вообще [4, 5]. Определенный скептицизм на начальном этапе исследований был и у нас. Однако по мере обнаружения новых и вполне объяснимых с позиций доказательной науки и медицины результатов на смену скепсису и отрицанию пришли понимание и убежденность [6].

Было доказано, что биологическая активность и благотвор-

ное действие на организм связаны не с электрическим зарядом ОАИ, а с радикальной природой одного-единственного иона — супероксидного анион-радикала кислорода (O_2^-) и с образующейся при его дисмутации перекисью водорода (H_2O_2) [7, 8]. Выяснилось также, что атмосферный (т.е. экзогенный) газофазный супероксид O_2^- (ГС) играет исключительно важную роль в регуляции жизнедеятельности организма. Более того, оказалось, что без него абсолютно невозможна жизнь животных. Осмыслить результаты этих исследований и, главное, опубликовать их в научной литературе в 80-е годы оказалось непросто.

Дело в том, что долгое время супероксидный радикал O_2^- был хорошо известен в совершенно другом амплуа — рассматривался исключительно как начальное звено повреждений в клетках и тканях. Однако это относится к эндогенному O_2^- , который образуется в реакциях обычного обмена веществ (метаболизма). Помимо супероксидного радикала при восстановлении молекулы O_2 в клетках возникают другие активные формы кислорода (АФК) — перекись водорода (H_2O_2), гидроперекисный радикал (HO_2) и гидроксильный радикал ($\cdot OH$). Интенсивная продукция $\cdot OH$ способна вызвать гибель клетки, а чрезмерно высокий уровень других АФК (в том числе и O_2^-) в клетках и тканях считается возможной причиной развития различных патологий — дегенеративных заболеваний нервной системы (рассеянного склероза, болезни Паркинсона и Альцгеймера), аутоиммунных и хронических воспалительных процессов, канцерогенеза и т.д. [9].

С другой стороны, в последнее время стало ясно, что эндогенные АФК участвуют и в нормальных процессах метаболизма — в регуляции клеточного деления, проницаемости мембран, экспрессии генов и апоптозе. Известны и защитные функ-

ции АФК, например связанные с активностью нейтрофилов — зернистых лейкоцитов (гранулоцитов), способных к фагоцитозу мелких инородных частиц, включая бактерии. Интересно, что у больных хроническим гранулематозом, обусловленным генетическим дефектом нейтрофилов, обнаружен недостаток токсичных для бактерий O_2^- и H_2O_2 . Недавно были описаны другие защитные функции активного кислорода: животные, не имеющие наружного скелета или кутикулы, вырабатывают на поверхности тела АФК [10]. В то же время, и это звучит парадоксально, при определенных условиях радикал O_2^- может служить ограничителем (а значит, и регулятором) эндогенного окислительного стресса. Не случайно поэтому один из авторов концепции токсичности O_2^- — Мак-Корд — был вынужден признать, что «супероксид вызывает не только плохие изменения» и что наше понимание причин сложного поведения O_2^- в клетке остается недостаточным [11].

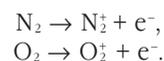
Двойственной (точнее — многогранной) роли эндогенного (метаболического) супероксидного радикала и его противоречивому поведению в аэробных клетках посвящено довольно много статей, в том числе и научно-популярных*. Однако основаны они, как правило, на исследованиях свойств O_2^- в водных растворах, суспензиях клеток и тканях. Между тем для нормального существования всех наземных организмов необходим воздух, который наряду с молекулярным кислородом всегда содержит электрически заряженные частицы, в том числе атмосферный O_2^- — экзогенный газофазный супероксид кислорода.

* См. напр.: Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло // Природа. 1997. №11. С.26—35; Владимиров Ю.А. Биологические мембраны и незапрограммированная смерть клетки // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №12. С.13—19.

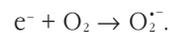
Газофазный супероксид и аэроионы

Понятие «аэроионы», напомним, объединяет положительные и отрицательно заряженные ионы — O^+ , O_2^+ , N^+ , N_2^+ , CO_2^+ , O^- , O_2^- , O_3^- , O_4^- , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^- и $\cdot OH$. Образуются все они в результате энергозависимых процессов ионизации газов, при этом одна из нейтральных молекул окисляется, теряя электрон и превращаясь в положительный ион, а другая — восстанавливается, присоединяя электрон и приобретая отрицательный заряд. Аэроионы могут быть как искусственного происхождения, так и естественного (образуются под действием электрических разрядов, космических лучей, радиоактивных веществ воздуха и почв).

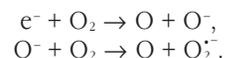
В образовании супероксидного радикала O_2^- , который, как выяснилось, и определяет биологические эффекты ОАИ, ключевую роль играют свободные электроны (e^-). В атмосфере они образуются в результате ионизации молекул азота и кислорода:



Электроны с энергией около 40 кДж/моль при столкновениях с нейтральными молекулами могут «прилипнуть» к ним. Так чаще всего образуется и супероксидный анион-радикал кислорода:



При более высоких энергиях, например в разрядах молний, может происходить диссоциация кислорода и перезарядка ионов:



К слову, высокоактивные атомы кислорода могут взаимодействовать с молекулами O_3 , образуя озон (O_3), специфический запах которого сопровождается разрядами молний. У большинства людей он связан с субъективным ощущением «свежести» воздуха, что даже отражено в поэтической строке

«В воздухе пахнет грозой...». На самом же деле это — распространенное заблуждение; озон вместе с окислами азота — вредные побочные продукты, которые образуются не только в природе, но и при искусственной ионизации воздуха с помощью широко рекламируемых бытовых приборов. Супероксид кислорода, напротив, не имеет запаха, но именно этот анион-радикал наравне с другими активными формами кислорода играет исключительно важную роль в жизнедеятельности организмов. Однако очевидным этот вывод стал не сразу...

В далекие предвоенные годы сотни зрителей, собравшиеся на спектаклях в ленинградских театрах, не подозревали о своем участии в экспериментах по изу-

чению аэроионного состава воздуха в заполненных людьми помещениях. Оказалось, что продолжительное пребывание большого количества людей в замкнутых пространствах приводит к снижению уровня ОАИ в воздухе и повышению концентрации вредных положительных ионов. Позднее была доказана взаимосвязь между нарушением состава аэроионов в воздухе и возникновением у людей недомоганий — головных болей, повышенной утомляемости и т.д. Потребовалось много времени на поиск доказательств того, что причина этих недомоганий — дефицит ГС в воздушной среде.

Как это принято в экспериментальной биологии, выяснению роли того или иного фактора нередко служит полное его

удаление. В природе абсолютного отсутствия в воздухе ГС быть не может, сложно оказалось избавиться от него и в условиях эксперимента. Когда же наконец этого удалось добиться с помощью электрических ловушек, то выяснилось, что полное удаление O_3^- из воздуха (депривация) приводит к гибели всех взятых в эксперимент животных — мышей через 7—16 сут, крыс через 10—23 сут [12]. Гибели животных предшествовали патологические изменения в структурах мозга, главные из которых — нарушение нейросекреции гипоталамуса и разрушение более 75% клеток передней доли гипофиза — аденоцитов (рис. 1). Из внешних признаков наиболее явными были нарушения инстинктов и коор-

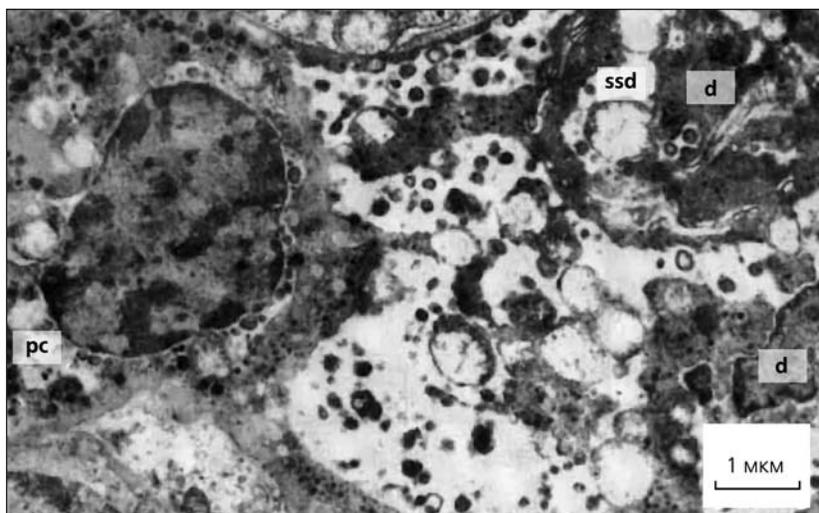
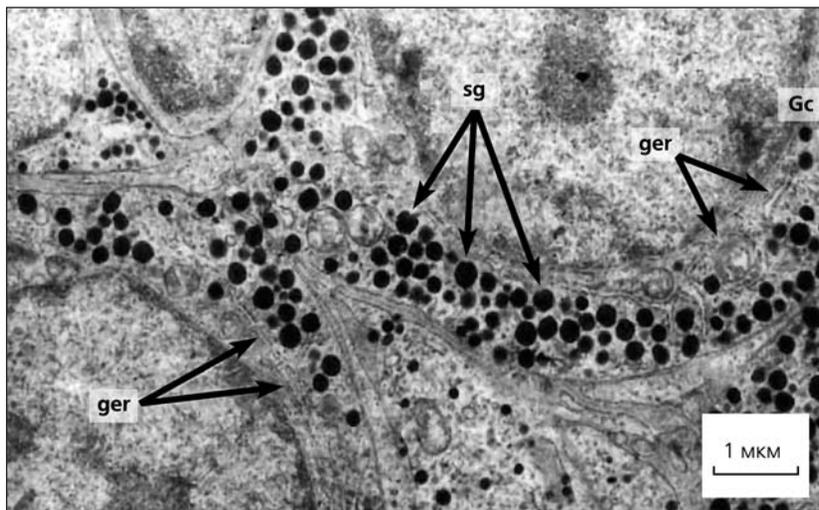
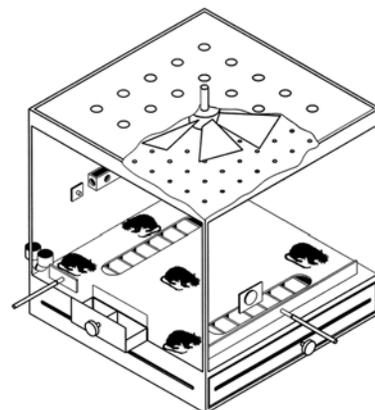


Рис.1. Электронные микрофотографии клеток передней доли гипофиза (аденоцитов) здоровых крыс (вверху) и тех животных, которые 10 сут содержались в депривационной камере. На нижнем рисунке видны разрушения гранулярного эндоплазматического ретикулума (ger) — щелевидные расширения (ssd), разрастания перинуклеарной цистерны (pc), а также сморщенные дегенерирующие ядра (d). Значительно уменьшилось число продуцирующих гормоны секреторных гранул (sg) и в целом зона комплекса Гольджи (Gc). Спустя еще две недели все взятые в эксперимент животные погибли.



депривационная камера

динации движений, заторможенность, отказ от пищи и воды, потеря веса, выпадение шерсти. Обнаружены были и нарушения во внутренних органах — эрозии слизистой оболочки желудка и обратное развитие вилочковой железы (тимуса), приводящее к угнетению иммунной системы. Эти явления возникали на фоне усиления окислительного стресса в тканях. Введение искусственного ГС в зону дыхания предотвращало развитие патологических изменений и гибель животных. Таким образом, главными результатами этих опытов были доказательства потребности животных не в ОАИ вообще, а исключительно в ГС.

Большие эффекты малых доз

Один из основных аргументов оппонентов, сомневающих в биологической активности аэроионов, — их чрезвычайно

низкие концентрации в атмосфере. Действительно, в 1 см³ воздуха может содержаться в зависимости от состояния атмосферы и других факторов от ста до трех тысяч пар газовых ионов. Поскольку общее число молекул основных газов (азота, кислорода и углекислого газа) в 1 см³ воздуха составляет 2.7·10¹⁹, даже при максимальной концентрации на один аэроион приходится не менее 10¹⁶ неионизированных молекул воздуха. Казалось бы, сомнения скептиков в способности столь малой доли аэроионов вдыхаемого воздуха заметно воздействовать на организм вполне обоснованы. Тем более что речь идет об электрически заряженных частицах, проникновение которых внутрь организма (в легкие и кровь) теоретически не обосновано и никогда не было экспериментально доказано. Можно еще больше усилить недоумение скептиков уточнением — содержание радикала O₂⁻ в атмосферном воздухе значи-

тельно (в десятки и даже сотни раз) меньше, чем ОАИ в целом. По этой причине для обнаружения ГС в воздухе обычные методы, основанные на измерении электрического заряда, оказались недостаточно чувствительными. На помощь пришли биохимические методы, в частности метод восстановления акцепторов супероксида кислорода (рис.2).

И все же разрешить кажущееся противоречие между ничтожно малым содержанием радикала O₂⁻ и наблюдаемыми эффектами можно, если предположить наличие некоего механизма усиления «сигналов» супероксида. Как оказалось, в организме человека и животных действительно существуют структуры, способные воспринимать и усиливать «сигналы» поступающего с воздухом супероксида и других АФК.

Выдающийся отечественный теоретик медицины А.Д.Сперанский считал, что: «слабые степени раздражения

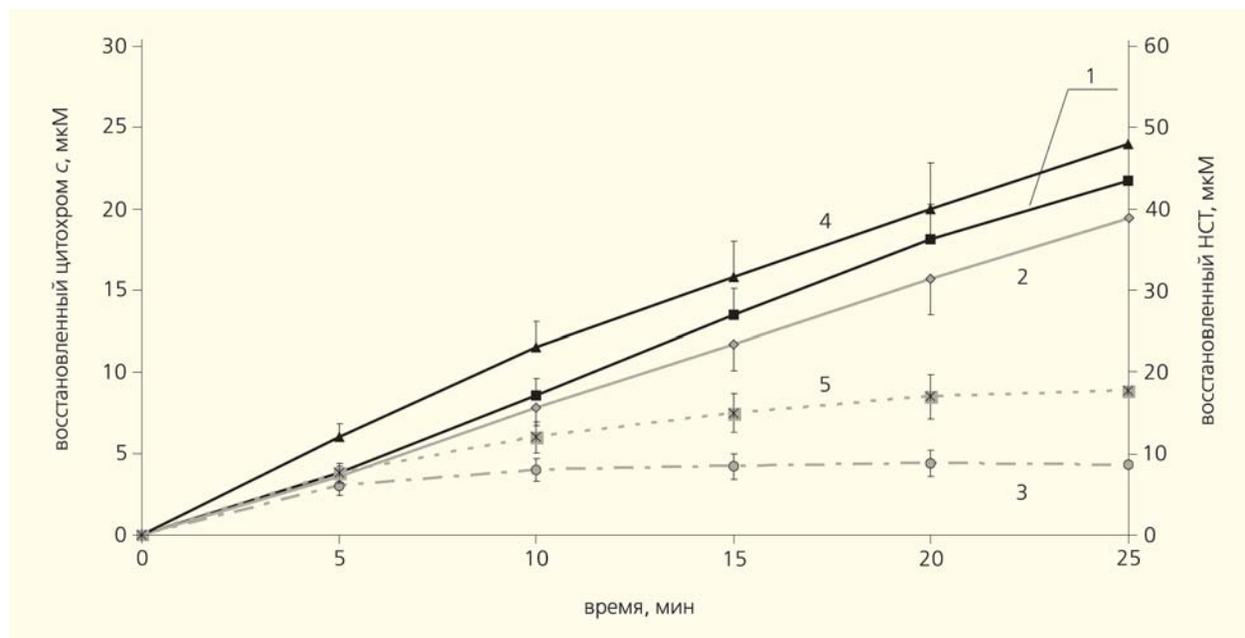


Рис.2. Результаты экспериментов по восстановлению химического и природного акцепторов супероксида кислорода: нитросинего тетразолия — НСТ (кривая 1) и мембранного белка — цитохрома с (кривая 4). Добавление 0.1 мкМ антиоксидантного фермента супероксиддисмутазы (СОД) препятствует восстановлению НСТ и цитохрома с (кривые 3 и 5 соответственно), а инактивированная СОД практически не ингибирует восстановление НСТ (2). Таким образом были получены доказательства присутствия газофазного супероксида в составе отрицательно заряженных аэроионов.

имеют полезное значение, сильные неизбежно приносят вред». Эту мысль развил радиобиолог А.М.Кузин, долгое время изучавший эффекты ультрамалых доз радиации. В 1995 г. он писал: «Явление гормезиса — благоприятное воздействие ультрамалых доз какого-либо фактора, вредоносного в больших дозах, — особенно отчетливо проявлялось в тех случаях, когда исследуемый фактор постоянно присутствовал в окружающей среде <...>, когда биота адаптировалась к природным уровням этого фактора». Выяснилось, что законы гормезиса как нельзя лучше применимы к объяснению многих эффектов ГС.

Регуляторный стимул. Известный американский биохимик Э.Рэкер как-то отметил, что красота ошибочной гипотезы иллюзорна. Существовавшие долгое время взгляды о бронхо-легочном пути проникновения ОАИ в организм [13] не выдержали проверку временем [4, 5, 14]. В поисках структур, способных вызывать наблюдаемые в экспериментах ответные реакции организма на ОАИ и ГС, мы обратили внимание на регуляторные центры мозга. Уже первые опыты показали, что во всех случаях физиологические эффекты ГС были выражены значительно сильнее по сравнению с другими ОАИ. Впоследствии было обнаружено, что несколько ингаляций ГС достаточно для стимуляции гипофиза — «дирижера эндокринного оркестра» организма. Секреторные клетки передней доли железы (аденогипофиза) вырабатывают гормоны, которые регулируют активность многих эндокринных желез. Особый интерес представляет активация продукции гормонов адаптации — адренокортикотропного (АКТГ) и тиреотропного (ТТГ).

АКТГ регулирует эндокринные функции коры надпочечников, где синтезируются кортикостероиды — гормоны рези-

стентности. Таков, например, гидрокортизон (кортизол) — регуляторный гормон с широким спектром действия. АКТГ влияет также на память и процессы обучения, мотивацию, поведенческие реакции. Нарушения в этой гормональной системе могут быть причиной бронхиальной астмы, болезни Альцгеймера, злокачественного роста клеток и т.д.

ТТГ стимулирует синтез и секрецию важнейших регуляторов роста и обмена веществ — гормонов щитовидной железы трийодтиронина (Т3) и тироксина (Т4). Кратковременные эффекты ТТГ связаны с биологической активацией йода, входящего в состав Т3 и Т4. Эти гормоны, в свою очередь, отвечают за продолжительные эффекты ТТГ — обмен веществ, рост, физическое и умственное развитие. Действуют эти гормоны путем индукции ферментов клетки, регулирующих синтез белков, нуклеиновых кислот и фосфолипидов.

Оставалось, однако, неясным, каким же образом вдыхаемый ГС может воздействовать на переднюю долю гипофиза. Ответ на этот вопрос мы надеялись получить в исследовании гипоталамуса — основного регулятора вегетативных функций. Именно в гипоталамус поступают сигналы из внешней и внутренней среды, трансформируемые здесь в регуляторные потоки нервных импульсов (вспомним «нервный флюид» Ламарка) и гормонов. Так называемые гипофизотропные рилизинг-гормоны регулируют активность аденогипофиза. Нейрогормоны вазопрессин и окситоцин, «упакованные» в гранулы, поступают из ядер гипоталамуса в заднюю долю гипофиза (нейрогипофиз). Количество обнаруживаемых здесь гранул отражает степень активности этих ядер. Мы смогли убедиться, что в ответ на ингаляции ГС число гормонсодержащих гранул в нейрогипофизе у крыс увеличивается.

В этих исследованиях было доказано, что в реакции на ГС и назальные аппликации H_2O_2 раньше других вовлекаются оба центра нервно-гормональной регуляции. То, что эти сигналы из вдыхаемого воздуха могут вызывать ответные реакции со стороны различных структур мозга, открылось в исследованиях... боли.

Болеутоляющее действие.

В 1957 г. группа врачей одной из больниц в Филадельфии (США) опубликовала интересное наблюдение. Было замечено, что у многих пациентов ингаляции ОАИ заметно уменьшали послеоперационные боли. Эффект, правда, оказался неустойчивым, не получил в тот период объяснения и вскоре был предан забвению.

Спустя 30 лет, когда уже были выяснены многие механизмы действия ГС, мы вернулись к этому наблюдению и предположили, что ГС может усиливать (потенцировать) болеутоляющее действие остаточных концентраций анальгетиков в организме пациентов. Оказалось, что это действительно так, но при единственном условии — активные формы кислорода должны контактировать с рецепторами слизистой оболочки полости носа (подробное описание экспериментов, подтверждающих этот вывод, приведено в подписи к рис.3). Стало очевидно, что эффекты активных форм кислорода связаны с фундаментальными механизмами подавления боли, включая эндокринное звено и продукцию эндогенных опиоидов, а также вовлечение серотонинергической системы [15].

Говорят, что нет ничего практичнее хорошей теории. Выяснение потенцирующего влияния активных форм кислорода на действие анальгетиков позволило значительно снизить их дозы при использовании препаратов, содержащих O_2^- и H_2O_2 .

Другие влияния на центральную нервную систему. Выяснилось, что ингаляции ГС

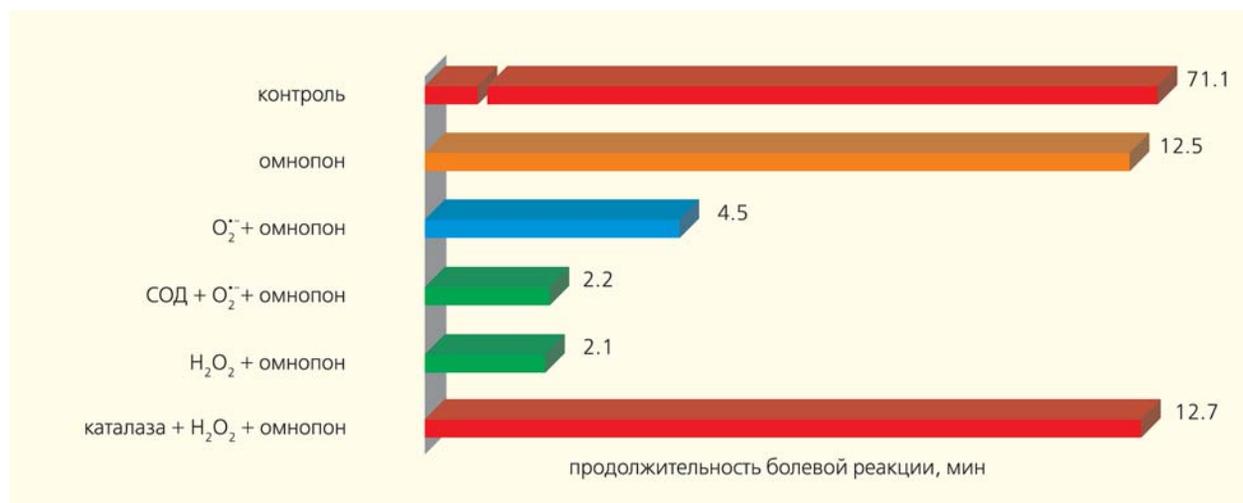


Рис.3. Усиление экзогенными АФК ($O_2^{\bullet-}$ и H_2O_2) болеутоляющего действия анальгетиков (на примере омнопона) у крыс. В эксперименте использована известная модель сильной болевой реакции, вызванной у крыс введением в переднюю лапу слабого раствора формальдегида. У контрольных животных болевая реакция, оцениваемая по времени до первого опускания поврежденной лапы на пол клетки, длилась около 71 мин. Выбранная доза анальгетика сократила продолжительность боли до 12.5 мин, а в сочетании с ингаляцией ГС — до 4.5 мин. Уже на этом этапе эксперимента стало ясно, что усиление эффекта анальгетика, отмеченное американскими врачами, связано с действием супероксидного анион-радикала кислорода, а не с ОАИ в целом. Нанесение на слизистую оболочку полости носа раствора СОД (фермента, катализирующего дисмутацию $O_2^{\bullet-}$ с образованием H_2O_2) при прежних условиях еще больше сократило время болевой реакции. Тем самым было доказано, что эффекты ГС не связаны с электрическим зарядом иона кислорода (в противном случае присутствие СОД должно было бы привести к исчезновению потенцирующего эффекта $O_2^{\bullet-}$). Оставалось выяснить, не вызван ли этот эффект продуктом дисмутации $O_2^{\bullet-}$ — перекисью водорода. Оказалось, что локальное (без проникновения в бронхи и легкие!) нанесение на слизистую полости носа микромолярного раствора H_2O_2 в сочетании с тем же анальгетиком вызывает тот же эффект, что и комбинация ГС с СОД. Последним шагом в этой захватывающей истории было повторение эксперимента с перекисью водорода, однако теперь на слизистую носа предварительно наносили раствор каталазы — фермента, разрушающего H_2O_2 , что, как и ожидалось, привело к исчезновению эффекта потенцирования болеутоляющего действия анальгетика.

и введенные в полость носа ничтожные дозы H_2O_2 эффективно защищают базальные ганглии (БГ) мозга, морфологически связанные с гипоталамусом. БГ интересны уже тем, что при патологии этих структур развиваются тяжелые нарушения мышечного тонуса, позы и движений. Эти явления вызваны нарушениями в дофаминергической системе мозга, которые приводят к дрожательному параличу (болезни Паркинсона).

ГС и H_2O_2 , воздействуя на рецепторы слизистой оболочки носа, вызывают в БГ повышение уровня необходимого мозгу нейротрансмиттера дофамина. Биохимическая основа эффекта АФК — рефлекторное угнетение активности фермента, разрушающего дофамин (моноаминоксидазы типа В). Аналогично

происходит угнетение другого фермента (моноаминоксидазы типа А) в лимбических структурах и гипоталамусе. Это способствует уменьшению серотонин-зависимой депрессии. Впоследствии эти эффекты нашли применение в создании лекарства для лечения болезни Паркинсона [16].

Защитное действие. Способность ОАИ ослаблять неблагоприятное действие стресс-факторов и способствовать адаптации организма была описана задолго до появления понятий «стресс» и «адаптоген». Еще в 40-х годах XX в. Д.А.Лапицкий исследовал возможность применения ОАИ для повышения выживаемости животных при дефиците кислорода (гипоксии). В наших опытах применение ГС и H_2O_2 позволило повысить бо-

лее чем на 40% выживаемость мышей в условиях гиперкапнической гипоксии — избытка CO_2 и недостатка O_2 .

Для организма столь же опасен избыток кислорода (гипероксия), особенно под высоким давлением (гипербарическая оксигенация, ГБО). В медицине ГБО — эффективный метод лечения заболеваний, связанных с тканевой гипоксией. Ограничения применения ГБО связаны с токсическим действием кислорода и окислительным стрессом, причем фармакологическая коррекция антиоксидантами часто оказывается малоэффективной. Оказалось, что применение ГС может предотвращать окислительный стресс, развитие судорог и гибель животных при воздействии жестких режимов ГБО (рис.4).

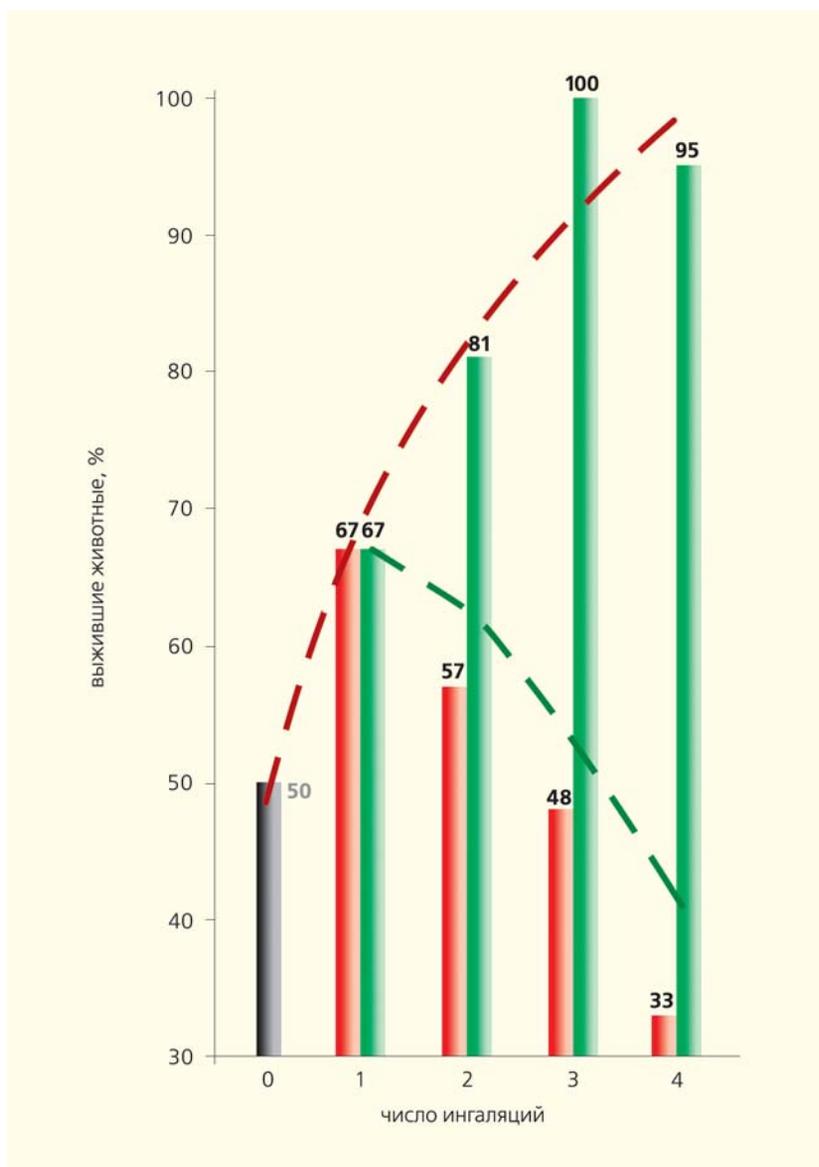


Рис.4. Выживаемость мышей в условиях гипербарической оксигенации (3 ати* чистого O₂). Повторные ингаляции ГС повышают выживаемость до 100% (зеленые столбцы). Ингаляции кислорода без ГС неэффективны или увеличивают смертность (красные столбцы). Выживаемость мышей в контроле близка к 50% (серый столбец).

Не все дороги ведут в Рим

В настоящее время рекламируемый перечень лечебного применения ОАИ очень широк, что формирует представление о них как о панацее у доверчивого покупателя ионизаторов воздуха. Разобраться в этом во-

* Ати — давление газа в атмосферах, избыточное к нормальному.

просе действительно непросто, и не только для рядового человека. В этой связи мы, думаем, не ошибемся, если предложим всем интересующимся воспользоваться правом осознанного выбора, а также задаться в каждом конкретном случае простым вопросом: «Описаны ли в научной литературе результаты современных клинических испытаний рекламируемого ме-

тода лечения?». Кстати, сказанное может быть отнесено не только к ионизаторам воздуха, но и к некоторым другим широко рекламируемым продуктам медицинского назначения.

Как известно, не все дороги ведут в Рим, как и не все, что мы вдыхаем, обязательно попадает в легкие. Электрический заряд ОАИ и короткое время жизни радикала O₂⁻ препятствуют проникновению этих частиц в глубокие отделы бронхиального тракта. Сейчас не представляет труда обнаружить и измерить все то, что попадает в легкие. Однако обнаружить ОАИ в легких до сих пор никому не удавалось, и поэтому любое обратное утверждение, не основанное на опыте, может только помешать установлению истины. Предложенная в 1933 г. Л.Л.Васильевым и А.Л.Чижевским изящная гипотеза о проникновении аэроионов в легкие имеет в настоящее время лишь историческое значение [13, 14].

Тем не менее истину следует искать посередине. Мы уже упоминали, что образующаяся при дисмутации супероксида электрически нейтральная перекись водорода способна проникать в глубокие отделы бронхиального дерева и индуцировать здесь физиологические ответы. Некоторые из них могут иметь самое непосредственное отношение к лечебным эффектам ГС у больных бронхиальной астмой [8].

Доказательства эффективности ГС в лечении бронхиальной астмы были получены нами и коллегами в клинических исследованиях у взрослых и детей [17,18]. Было доказано, что у этих больных лечебное действие ГС реализуется с вовлечением центральных и местных механизмов. Первые тесно связаны с нейрогуморальными реакциями и повышением уровня эндогенного кортизола. В реализации вторых основную роль играет локальное адаптогенное действие исчезающе малых количеств электрически нейтральной H₂O₂.

Однако в подавляющем большинстве случаев, в том числе у больных астмой, основные эффекты связаны с воздействием O_2^- и H_2O_2 на регуляторные центры мозга через рецепторы полости носа. В то же время известно, что в ответные реакции на ОАИ и ГС не вовлечены хорошо изученные обонятельные рецепторы. Поэтому наше внимание привлекли другие чувствительные структуры полости носа — рецепторы тройничного нерва и вомероназального органа [19]. В качестве наиболее вероятного объяснения эффективности сверхмалых доз экзогенных АФК можно воспользоваться соображениями, известными в отношении, например, других лигандов и G-белок-сопряженных рецепторов. Известно, что один активный рецептор может взаимодействовать с 10—100 G-белками. Один G-белок способен активировать 10—100 молекул аденилатциклаз. Одна активная аденилатциклаза способна катализировать образование до 1000 молекул цАМФ — химического посредника передачи сигнала внутри клетки. Таким образом, уже на уровне рецептора этот кас-

кад может усилить сигнал в 10^6 — 10^{10} раз и биологический ответ может быть получен при взаимодействии низких стационарных концентраций ГС (или H_2O_2) с рецепторами.

От рецепторов сигнал по нервным волокнам поступает в регуляторные центры мозга, где запускает каскад вторичных рефлекторных реакций. Подтвержденными в исследованиях мишенями этих сигналов в ЦНС служат, напомним, гипоталамус, гипофиз, базальные ганглии, а также миндалина и ствол мозга.

Центральные лечебные эффекты ГС и H_2O_2 позволили разработать упомянутые способы борьбы с болезнью Паркинсона. Последовавшие клинические исследования продемонстрировали эффективность назальных аппликаций ГС и H_2O_2 в лечении рассеянного склероза и детского церебрального паралича. Обнаруженные нами физиологические реакции на экзогенные ГС и H_2O_2 послужили основой для применения этих АФК в симптоматическом лечении больных с синдромом Дауна, а также дальнейших исследованиях в области психиатрии и наркологии.

По убеждению Мак-Корда [11], на смену устоявшемуся мнению о целесообразности повышения антиокислительного обеспечения тканей для предотвращения окислительного стресса, приходит стратегия поддержания равновесия окислительных и антиокислительных систем организма. Поэтому эти исследования могут иметь особое значение для выработки новых стратегий в лечении заболеваний, связанных с нарушениями окислительного статуса органов и систем организма.

Научный, лечебный и профилактический потенциал многоликого радикала газофазного супероксида исключительно высоки, а сама наука об аэроионах, несмотря на почтенный возраст, находится в преддверии новых захватывающих исследований и открытий. Как известно, «прикосновение к тайне будоражит умы больше, чем ее разгадка», однако рано или поздно все тайное становится явным. Научная интрига, волновавшая ученых несколько десятилетий, завершилась созданием новой концепции о биологической роли атмосферного радикала O_2^- . ■

Литература

1. Sulman F.G. The Effects of Air Ionization, Electric Fields, Atmospheric and Other Electric Phenomena and Animals. Springfield, 1980.
2. Olivereau J.-M. // *Année Psychol.* 1976. V.76. P.213—244.
3. Чижевский А.Л. Аэроионы и жизнь // Беседы с Циолковским. М., 1999.
4. Минх А.А., Аниусимов Б.В., Серова Л.В. // *Вестн. Акад. мед. наук СССР.* 1972. Т.27. №1. С.3—13.
5. Air Ions: Physical and Biological Aspects / Ed. J.M.Charry, R.I.Kavet. Boca Raton, 1987. P.91—150.
6. Гольдштейн Н.И. // *Кислородные радикалы в химии, биологии и медицине.* Рига, 1988. С.80—108.
7. Goldstein N.I., Goldstein R.N., Merzlyak M.N. // *Int. J. Biometeorol.* 1992. V.36. P.118—122.
8. Гольдштейн Н.И. // *Биофизические аспекты физиологического действия экзогенного O_2^- на животных.* Дисс. докт. биол. наук. 2000. МГУ. Москва.
9. Halliwell V., Gutteridge J.M.C. // *Hum. Toxicol.* 1988. V.7. P.7—13.
10. Гордеева А.В., Лабас Ю.А. // *Цитология.* 2003. Т.45. №3. С.284—289.
11. McCord J.M. // *P.S.E.V.M.* 1995. V.209. P.112—117.
12. Goldstein N., Arshavskaya T. // *Biosciences.* 1997. V.52c. P.396—404.
13. Васильев Л.Л., Чижевский А.Л. // *Тр. ЦНИЛИ «Проблемы ионификации».* 1933. Воронеж, Т.1. С.219—228.
14. Скоробогатова А.М. // *Журнал СССР им. И.М.Сеченова.* 1991. Т.77. №8. С.156—159.
15. Goldstein N., Baumann S., Lewin T. et al. // *Inflammation Researsh.* 1996. V.45. P.473—478.
16. Голубев В.Л., Садеков Р.А., Пилипович А.А., Гольдштейн Н.И. // *Лечение нервных болезней.* 2003. Т.4. №2(10). С.26—29.
17. Goldstein N., Reberg G., Lewin T., Klefisch F.-R. // *Physikalische Medizin.* 1997. V.7. S.138—140.
18. Гольдштейн Н.И. // *Российский медицинский журнал.* 2003. №4. С.49—53.
19. Гольдштейн Н.И. // *Биохимия.* 2002. Т.67. Вып.2. С.194—204.

История отечественной двухступенчатой водородной бомбы и научная этика

Г.А.Гончаров

22 ноября 1955 г. было произведено испытание первого отечественного двухступенчатого термоядерного заряда РДС-37, создание которого — важнейший этап разработки в нашей стране термоядерного оружия. 50-летию со дня этого события была посвящена статья автора этих строк в журнале «Успехи физических наук» «Необычайный по красоте физический принцип конструирования термоядерных зарядов» [1]. Эта публикация вызвала критику со стороны историка науки Г.Е.Горелика, напечатавшего в «Природе» свои соображения под названием «Секретная физика и научная этика» [2]. Настоящая статья — ответ оппоненту.

Должен сразу же отметить, что Горелик значительную часть своей статьи посвятил не обсуждению моих высказываний, а собственным утверждениям, которые он мне приписывает. Точнее говоря, эти утверждения либо вообще отсутствуют в моем тексте, либо их суть неполно или неточно отражена. Так, Горелик пишет, что статья Гончарова «наряду с новыми фактами содержит исторические реконструкции», с которыми он не может согласиться, «в частности и в особенности» с якобы высказанным мною «предположением, что Сахаров в своих «Воспо-



Герман Арсеньевич Гончаров, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики Российского федерального ядерного центра. Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии и Государственной премии РФ.

минаниях» лукавил — сознательно вводил читателей в заблуждение» (по какому поводу — скажу дальше). Но должен сразу же заявить, что такого предположения я нигде и никогда не делал и никогда не допускал. Чтобы все стало понятнее, попробуем ответить на вопрос:

Был ли Сахаров знаком с материалами разведки по водородной бомбе?

В моей статье говорится, что, создавая атомную бомбу, наша страна отвечала на вызов США. Но уже в 1945 г. из поступивших в СССР по каналам разведки сообщений (и данных открытой зарубежной печати) стало ясно, что мы можем оказаться перед новым вызовом — США ведут разработки и еще более грозной разновидности ядерного оружия — водородной бомбы. Наиболее существенные данные, отражающие ранние работы в США по проблеме водородной бомбы, были переданы для СССР в 1945 и 1948 гг. Клаусом Фуком. Как следует из рассекреченных теперь материалов, информация Фука включала в себя сведения об американском проекте водородной бомбы — «классический супер», или «труба» (1945) — и об усовершенствованном проекте «трубы» с двухступенчатым инициатором, работающем на предложенном в 1946 г. Фуком принципе радиационного обжаривания (1948). Схема двухступенчатого инициатора для «трубы» была важным шагом на пути к двухступенчатой водородной бомбе на принципе радиационного обжаривания и способствовала открытию кон-

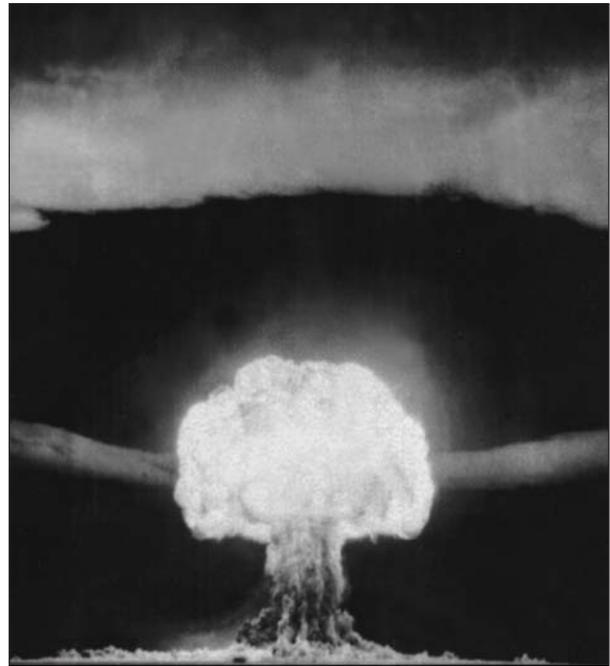
цепции ее конструирования, причем как в США, так и в СССР. Однако, как подчеркнуто в моей статье, все известные документальные источники свидетельствуют о том, что открытие концепции конструирования двухступенчатого заряда РДС-37 было сделано советскими учеными самостоятельно — разведка не снабдила их американской концепцией (конфигурацией Теллера—Улама), открытой в 1951 г. Тем не менее объективное изложение истории создания заряда РДС-37 невозможно, если не учитывать и не анализировать влияние поступивших в СССР разведывательных материалов.

Концепция конструирования заряда РДС-37 была открыта в 1954 г., в период разработки одноступенчатого термоядерного заряда РДС-6сД, «неосторожно анонсированного», говоря словами Сахарова, после успешного испытания 12 августа 1953 г. первого отечественного термоядерного заряда РДС-6с («слойки») в его докладной записке на имя министра среднего машиностроения В.А.Малышева [3. С.251]. В своих «Воспоминаниях» Сахаров так описал это событие:

«Уже в первые месяцы нового, 1954-го, года, нам, теоретикам объекта, стало ясно, что мои предложения, легшие в основу докладной, не обещают ничего хорошего. Первоначально я возлагал особые надежды на некоторые “экзотические” (назовем их условно так) особенности предложенной конструкции. Но первые же оценки показали, что даже в завышающих предположениях эти особенности лишь очень немного увеличивают мощность. При этом они были крайне неудобны конструктивно и очень ограничивали возможности применения изделий этого типа. Мы приняли решение ликвидировать всю эту экзотику. После этой операции стало окончательно ясно, что изделие — малообещающее!..

Между тем, у нас возникла новая идея принципиального характера, назовем ее условно “третьей идеей” (имея в виду под первой и второй идеями выказанные мной и Гинзбургом в 1948 году). В некоторой форме, скорей в качестве пожелания, “третья идея” обсуждалась и раньше, но в 1954 году пожелания превратились в реальную возможность.

По-видимому, к “третьей идее” одновременно пришли несколько сотрудников наших теоретических отделов. Одним из них был и я. Мне кажется, что я уже на ранней стадии понимал основные физические и математические аспекты “третьей идеи”. В силу этого, а также благодаря моему ранее приобретенному авторитету, моя роль в принятии и осуществлении “третьей идеи”, возможно, была одной из решающих. Но также, несомненно, очень велика была роль Зельдовича, Трутнева и некоторых других, и, быть может, они понимали и предугадывали перспективы и трудности “третьей идеи” не меньше, чем я. В то время нам (мне, во всяком случае) некогда было думать о вопросах приоритета, тем более, что это было бы “дележкой шкуры убитого медведя”, а зад-



Испытание советской водородной бомбы на полигоне в Семипалатинске.

ним числом восстановить все детали обсуждений невозможно. Да и надо ли?..» [3. С.253—254].

Приведем комментарий к словам Сахарова одного из его ближайших сотрудников, участника работ над зарядами РДС-6с и РДС-37 В.И.Ритуса: «Излагая появление “третьей идеи” в четырех фразах, А.Д.Сахаров четырежды использует слова “по-видимому”, “мне кажется”, “возможно”, “может быть”, так и не называет конкретных лиц, высказавших “третью идею”, и, скорее, говорит о своем понимании этой идеи. Свою роль А.Д.Сахаров видит в принятии и осуществлении “третьей идеи”. Ответить на приоритетные вопросы Андрея Дмитриевича почему-то считает невозможным, да и ненужным. С чего бы это?» [4. С.911]. Добавим к этому, что в то же время Сахаров четко говорит о своем приоритете и приоритете В.Л.Гинзбурга, когда речь идет о «первой» и «второй» идеях — идеях «слойки» и использования дейтерида лития-6, впервые воплощенных в заряде РДС-6с.

В памяти участников работ сохранился внезапный характер появления новых идей. Осталось и ощущение полной неясности в вопросах приоритета, к которым теоретики всегда были очень чувствительны. Об этом ярко написал один из ближайших сотрудников Я.Б.Зельдовича, участник работ над зарядом РДС-37 Л.П.Феокистов.

«Внезапно появились, как свет в темном царстве, новые идеи и стало ясно, что наступил “момент истины”. Молва приписывала эти основополагающие идеи в духе Теллера то Я.Б.Зельдовичу, то А.Д.Сахарову, то обоим, то еще кому-то, но всегда в какой-то неопределенной форме: вроде бы,



Игорь Васильевич Курчатов. С 1943 г. осуществлял научное руководство работами по атомной энергии, научный руководитель испытания первой двухступенчатой водородной бомбы РДС-37.

кажется и т.п. К тому времени я был хорошо знаком с Я.Б.Зельдовичем. Но ни разу не слышал от него прямого подтверждения на этот счет (как, впрочем, непосредственно от А.Д.Сахарова)» [5. С.223].

В связи со сказанным я отметил: «Возможно, дело было в том, что научная этика не позволяла Я.Б.Зельдовичу и А.Д.Сахарову обсуждать приоритетные вопросы без ссылок на разведывательные материалы», а на это они не имели права [1. С.1251].

Автор этих строк исходил из того, что с материалами разведки по водородной бомбе был знаком не только Зельдович (что подтверждено прямыми документальными данными), но и Сахаров. Это и вызвало гневную реакцию Горелика. По его мнению, мое высказывание предполагает, что «Сахаров в своих “Воспоминаниях” сознательно вводил читателя в заблуждение, попросту говоря, — расчетливо лгал» [6]. Негативная реакция Горелика связана со следующим утверждением Сахарова в его «Воспоминаниях»: «Сейчас я думаю, что основная идея разрабатывавшегося в группе Зельдовича проекта была “цельнотянутой”, т.е. основанной на разведывательной информации. Я, однако, никак не могу доказать это предположение. Оно пришло мне в голову совсем недавно, а тогда я об этом просто не задумывался. (Добавление, июль 1987 г. В статье Д.Холовея в “Интернейшл Секьюрити” 1979/80, т.4, 3, я прочитал: “Клаус Фукс информировал СССР о работах по термоядерной бомбе в Лос-Аламосе до 1946 г. ... Эти сообщения

были скорей дезинформирующими, чем полезными, так как ранние идеи потом оказались неработоспособными”. Моя догадка получает таким образом подтверждение!» [3. С.137—138].

Горелик говорит в «Трибуне УФН»: «Если Сахаров написал это, будучи знаком с разведматериалом Фукса, он не только сознательно вводил в заблуждение, но и нарушал свое обязательство...: “О периоде моей жизни и работы в 1948—1968 гг. я пишу с некоторыми умолчаниями, вызванными требованиями сохранения секретности. Я считаю себя пожизненно связанным обязательством сохранения государственной и военной тайны, добровольно принятым мною в 1948 году, как бы не изменилась моя судьба”» [3. С.148].

По моему же мнению, Сахаров облек свое знание в форму догадки как раз из соображений сохранения секретности. Ведь прямое утверждение о том, что в основе проекта «трубы» лежали разведывательные данные, было бы, по существу, раскрытием содержания этих данных, на которое Сахаров не имел права до их рассекречивания. А оно произошло уже позже написания «Воспоминаний». Выбранная Сахаровым форма рассказа о происхождении проекта «трубы» исключала возможность подозрения в разглашении им государственной тайны. Высказывание Горелика о нарушении Сахаровым взятого им на себя обязательства несостоятельно. Ни одному объективному и компетентному специалисту не придет в голову обвинять Андрея Дмитриевича и в сознательном введении в заблуждение читателя его «Воспоминаний».

Для Сахарова было важным донести до читателя следующую истину (остававшуюся неизвестной в течение многих лет даже большинству разработчиков отечественных термоядерных зарядов): «Если правильна моя догадка о шпионском происхождении того варианта термоядерного оружия, который Зельдович, Компанеец и др. разрабатывали в сороковые—пятидесятые годы, то это подкрепляет позицию Оппенгеймера в принципиальном плане. Действительно получается, что всю “цепочку” начали американцы, и если бы не они, то в СССР либо вообще не занимались бы военной термоядерной проблемой, либо начали заниматься гораздо позднее» [3. С.146]. И дело тут не только в том, Сахаров подчеркивает правоту позиции Оппенгеймера в дискуссии Теллер—Оппенгеймер. Андрей Дмитриевич считает принципиально важным отметить, что, создавая термоядерное оружие, наша страна отвечала на вызов Соединенных Штатов Америки. Решения Специального комитета и правительства СССР об исследовании возможности создания водородной бомбы, а затем и собственно ее создании были приняты не по инициативе советских ученых, а в связи с данными о проведении соответствующих работ в США.

Подчеркнутая условность цитированного выше высказывания Сахарова о том, что утверждение о «цельнотянутом» происхождении проекта



Здесь, в г.Саров (Арзамас-16), в 1948—1956 гг. располагался теоретический отдел КБ-11.

«трубы» является лишь его догадкой и о том, что «тогда» (т.е. в период его работы над водородной бомбой) он «об этом просто не задумывался», видно из другого фрагмента его «Воспоминаний». В главе 16 «1962—1963...» первого тома «Воспоминаний» Андрей Дмитриевич пишет:

«Я расскажу тут об одном “забавном” эпизоде, который, возможно, произошел много раньше или много позже (я нарочно не уточняю даты). Нам показывали фотографии каких-то документов, большинство из них были перекошены — видимо, фотографу некогда было установить свой микроаппарат. Среди фотографий был один подлинник, ужасно измятый. Я наивно спросил, почему этот документ в таком состоянии. Видите ли, его пришлось выносить в трусиках.

Однажды (я тоже не указываю даты) меня вызвали к начальству и попросили ответить на несколько вопросов. Мои ответы должны были быть переданы в органы разведки. Среди вопросов были такие (пишу по памяти, примерно). Какие данные об американском оружии в особенности были бы вам важны для вашей работы, для военнотехнического планирования в СССР вообще?.. Я, конечно, постарался выполнить это деликатное поручение как можно лучше» [3. С.315].

Сахаров прямо рассказывает о своем знакомстве с разведывательными материалами и том большом значении, которое он придает таким матери-

лам. Он не исключает, что это знакомство имело место много раньше 1961 г. (к тому же посещение «святая святых» — хранилища первичных документов разведки — вряд ли могло быть его первым знакомством с разведывательными материалами). Но он не называет дат, хотя сами по себе они никак не могут быть отнесены к государственной тайне. Причина, несомненно, в том, что Сахаров вынужден был представлять в «Воспоминаниях» свое знакомство с разведывательными материалами по «трубе» в форме догадки. И если даже на минуту допустить, что среди разведывательных материалов, о знакомстве с которыми пишет Андрей Дмитриевич, не было материалов по водородной бомбе, то разве он, работавший над отечественным термоядерным оружием, мог тогда не задуматься и не задаться вопросом, а не поступали ли в СССР в том числе и такие материалы? И не просто задаться вопросом, а прямо задать его организаторам ознакомления с материалами. Любой беспристрастный читатель согласится, что это невозможно.

Обратимся теперь к документальным источникам, проливающим свет на вопрос о знакомстве Сахарова с материалами разведки по водородной бомбе.

10 июня 1948 г. были приняты постановления СМ СССР №1889-773сс/оп и №1890-774сс/оп, явившиеся важной вехой в истории работ над ядерным оружием в СССР [7. С.494—498].



Английский физик Клаус Фукс. Внес значительный вклад в программу «Супер», разрабатывавшуюся в Лос-Аламосе. Передавал советской разведке сведения о работах в США по атомной и водородной бомбам. Возвратился в Англию. Провел девять лет в британской тюрьме. Снимок сделан в ГДР в 1960 г., когда он уже был на свободе.

Постановление №1889-773сс/оп «О дополнении плана работ КБ-11» обязывало КБ-11, которое было организовано в соответствии с постановлением СМ СССР №805-327сс от 9 апреля 1946 г. как КБ при Лаборатории №2 АН СССР [7. С.429—430] и на которое первоначально была возложена задача разработки атомных бомб РДС-1 и РДС-2 (бомбы с плутонием «сплошной» конструкции и бомбы с ураном-235 пушечного типа — аналогов американских бомб, примененных в войне с Японией) [7. С.434—456], произвести теоретическую и экспериментальную проверку данных о возможности осуществления усовершенствованных по сравнению с РДС-1 и РДС-2 атомных бомб, а также водородной бомбы, получившей наименование РДС-6. Постановление №1890-774сс/оп «О дополнительных заданиях по плану специальных научно-исследовательских работ на 1948 год» предусматривало ряд мероприятий, направленных на то, чтобы обеспечить выполнение предыдущего постановления. В числе этих мероприятий было создание в ФИАН СССР специальной теоретической группы под руководством И.Е.Тамма. На группу Тамма постановление возлагало проведение исследований по разработке теории горения дейтерия в соответствии с заданиями Лаборатории №2 АН СССР (Ю.Б.Харитона и Я.Б.Зельдовича).

Принятие постановлений было прямой реакцией на материалы Фукса, переданные им для СССР по каналам разведки в марте 1948 г. [8. С.1099; 9]. Предложение о большем привлечении ФИАНа к «решению наиболее актуальных теоретических вопросов сверхбомбы» содержалось в подписанном 5 мая 1948 г. заключении начальника Первого главного управления (ПГУ) Б.Л.Ванникова и И.В.Курчатова по указанным материалам Фукса [10. С.433—437].

Сахаров так писал о начальном этапе работ группы Тамма в ФИАН:

«Задача специальной группы Тамма, как нам ее сформулировал Игорь Евгеньевич на основании имевшихся у него документов, сводилась к тому, чтобы проанализировать расчеты группы Зельдовича по некоторому конкретному проекту термоядерного устройства военного назначения, в случае необходимости и по мере возможности уточнить, исправить и дополнить и дать независимое заключение по всему проекту в целом... Два месяца я прилежно занимался изучением отчетов группы Зельдовича... По истечении двух месяцев я сделал крутой поворот в работе: а именно, я предложил альтернативный проект термоядерного заряда, совершенно отличный от рассматривавшегося группой Зельдовича по происходящим при взрыве физическим процессам и даже по основному источнику энерговыделения. Я ниже называю это предложение “1-й идеей”.

Вскоре мое предложение существенно дополнил Виталий Лазаревич Гинзбург, выдвинув “2-ю идею”.

Наш вариант отличался от рассматривавшегося Зельдовичем тем, что отсутствовал вопрос о принципиальной осуществимости; кроме того, были существенные инженерные и технологические отличия. Более высокие характеристики наш проект приобрел в результате добавления “3-й идеи”, в которой я являюсь одним из основных авторов. Окончательно “3-я идея” оформилась уже после первого термоядерного испытания в 1953 г....» [3. С.148—149].

16 ноября 1948 г. Тамм официально сообщил директору ФИАН СССР С.И.Вавилову о том, что в процессе работы его группы над проблемой детонации дейтерия выяснилась принципиальная возможность нового способа использования этого вещества для целей детонации, основанного на особом рода сочетании дейтерия или тяжелой воды с природным ураном-238 [11. С.132]. А 11 апреля 1949 г. С.И.Вавилов направил Л.П.Берии записку Тамма «Об использовании легких элементов в качестве ядерных взрывчатых веществ», в которой была изложена сущность нового предложения, с сопроводительным письмом следующего содержания: «Глубокоуважаемый Лаврентий Павлович! Представляю при этом выводы теоретических исследований, проводимых теоретическим отделом Физического института им. П.Н.Ле-

бедева АН СССР в соответствии с Постановлением СМ СССР от 10 июня 1948 г. за №1989—773. Со своей стороны считал бы целесообразным обсудить вопрос о более широком развертывании теоретических и экспериментальных работ в этой области» [11. С.188—189]. Берии стало ясно, что новое предложение не повторяет материалы разведки. С этого времени Сахаров стал пользоваться огромной поддержкой Берии.

В связи с предложением Сахаровым «слойки» Берия принял неординарное решение. В июне 1949 г. исполнялся год со времени принятия постановлений СМ СССР №1989-773сс/оп и №1990-774сс/оп. На начало июня была намечена и в период с 4 по 9 июня в КБ-11 прошла серия совещаний с участием Ванникова, на которых были обсуждены состояние дел по подготовке к испытанию первой советской атомной бомбы РДС-1 (которое состоялось 29 августа 1949 г.) и результаты работ по выполнению указанных выше постановлений. Решение Специального комитета, принятое 23 мая 1949 г., включало поручение о рассмотрении на заседании в КБ-11 внесенного в Специальный комитет предложения Вавилова о разработке конструкции, предложенной Сахаровым [7. С.367]. Берия решил командировать Сахарова в КБ-11 для ознакомления с работами КБ-11 и участия в совещании по РДС-6. Сахаров был тогда единственным из сотрудников группы Тамма, получившим допуск в КБ-11. На совещании по РДС-6 в КБ-11, в котором участвовал Андрей Дмитриевич, был принят план научно-исследовательских работ по РДС-6 на 1949—1950 гг. [10. С.595—601]. План был написан А.Д.Сахаровым от руки и кроме него подписан И.В.Курчатовым, Ю.Б.Харитоновым, К.И.Щелкиным, Я.Б.Зельдовичем и М.Г.Мещеряковым. Он предусматривал проведение работ как по «слойке», так и по «трубе». Раздел плана, касающийся работ по «трубе», содержал пункт: «Инициирование (цилиндрического. — ГЛ.) заряда (дейтерия. — ГЛ.) взрывом в пушечном варианте или дополнительным зарядом с триоксидом (трителием. — ГЛ.)» [11. С.219]. Это указывает на то, что Сахаров в это время уже был знаком с подходами к проблеме инициирования «трубы», описанными в материалах Фукса (соответственно в материале 1945 г. и материале 1948 г.).

Подчеркнем важный для обсуждаемого вопроса момент: ни в одном из отчетов группы Зельдовича, выпущенных к этому времени, схемы Фукса не описывались и не обсуждались, так что Сахаров не мог почерпнуть свое знание из этих отчетов. Первым отчетом со схемами инициирования «трубы» типа схем Фукса был написанный Зельдовичем 9 февраля 1950 г. отчет «Водородная дейтериевая бомба» [11. С.253—258; 12]. Этот рукописный отчет был выпущен в одном экземпляре и сразу же направлен в Специальный комитет. Допуск к материалам разведки строго регламентировался лично Берией. Несанкционированное ознакомление Сахарова в период пребывания его в КБ-11 с мате-



Джон фон Нейман. В 1946 г. вместе с К.Фуксом запатентовал способ детонации термоядерного заряда «классический супер» посредством радиационного обжатия.

риалами Фукса (копии которых в это время находились в сейфе Харитона) исключено. В сохранившемся наброске плана мероприятий в период проведения совещаний в КБ-11 было предусмотрено ознакомление Сахарова только с конструкцией атомных зарядов РДС-1 и РДС-2 [10. С.576—582]. Наиболее вероятно, что Сахаров по указанию Берии был ознакомлен с материалами Фукса по водородной бомбе в ведомстве Берии перед поездкой Андрея Дмитриевича в КБ-11. В «Воспоминаниях» он говорит о своих многочисленных посещениях кабинета Берии в Кремле [3. С.205]. Одна из таких встреч состоялась в январе 1951 г. Тогда Берия пригласил к себе О.А.Лаврентьева, предложения которого по осуществлению управляемой ядерной реакции и литиево-водородной бомбе, направленные в ЦК ВКП(б) в июле 1950 г., произвели на него большое впечатление. Сахаров отметил, что это была его вторая встреча с Берией. А первая, скорее всего, состоялась в мае 1949 г. Тогда Берия познакомился с Сахаровым (подобно тому, как позднее, в 1951 г., он познакомился с Лаврентьевым), и Сахарову был предоставлен допуск к секретным информационным материалам.

Из имеющихся документов достоверно следует, что до встречи Берии с Сахаровым и Лаврентьевым в 1951 г. Берия встречался с Сахаровым в феврале 1950 г. (так что для Сахарова на самом деле это могла быть уже третья встреча с Берией). Факт указанной встречи подтверждается письмом, с ко-

торым Берия 26 февраля 1950 г. обратился к Сталину. В письме говорилось

«Товарищу Сталину И.В.

Как Вам известно из выступлений руководящих деятелей США и по публикуемым иностранной печатью многочисленным статьям, в настоящее время в США и других зарубежных странах поднята большая сенсация вокруг водородной сверхбомбы.

Наши ученые физики и конструкторы, которых я собирал (т.т. Курчатов, Харитон, Щелкин, Мещеряков, Тамм, Сахаров, Зельдович и др.), на основании предварительных данных исследований, начатых в этом направлении у нас по заданию Специального комитета, считают, что:

1. Теоретически возможно для получения атомного взрыва использовать кроме плутония и урана-235 также тяжелый водород (дейтерий) путем детонации массы дейтерия с помощью атомной бомбы из плутония или урана-235 [и] промежуточного детонатора из трития (изотопа водорода, который не существует в природе и может быть получен лишь в атомных котлах).

2. Практическое осуществление конструкции водородной бомбы связано с большими трудностями, а именно:

а) Ввиду того, что имеющиеся у нас научные сведения в данной области совершенно недостаточны, необходимо провести предварительные весьма сложные научно-теоретические расчетные и экспериментальные исследования для уточнения теории и вопросов технического осуществления конструкции водородной бомбы. Для проведения этой работы, по мнению наших ученых, потребуется около 1.5—2 лет.

б) Придется решить новую чрезвычайно сложную технически и дорогую по затратам проблему производства трития...

Капитальные затраты, связанные с организацией производства трития, ориентировочно определяются в 6 млрд рублей.

Однако, учитывая, что в руках наших врагов может оказаться новое весьма эффективное оружие, мы считаем необходимым и возможным, несмотря на указанные трудности, организовать научные и практические работы по созданию конструкции водородной бомбы и производству нужных для этого материалов (трития, дейтерия и лития-6).

Представляю на Ваше утверждение разработанные Специальным комитетом совместно с нашими физиками и конструкторами (т.т. Курчатовым, Харитоном, Щелкиным, Зельдовичем, Таммом, Сахаровым) проекты постановлений “О работах по созданию водородной бомбы” и “Об организации производства трития”...» [11. С.281—282; 13. С.97—98].

Проект первого постановления предусматривал организацию работ по созданию водородной бомбы в двух вариантах — в варианте «слойки» и в варианте «трубы» с двухступенчатым инициатором

с параметрами, в точности соответствующими параметрам, указанным в материале Фукса 1948 г.

Сталин утвердил представленные Берией проекты постановлений в тот же день, 26 февраля 1950 г.

Вероятному ознакомлению Сахарова с материалами Фукса в мае 1949 г. и, возможно, повторному в феврале 1950 г. предшествовало ознакомление Тамма и Сахарова, а затем и других сотрудников группы Тамма с данными по сечениям ДТ-реакции из материалов Фукса. Этот вопрос имеет следующую историю. Когда Харитон прочитал первые отчеты группы Тамма по «слолке», ему стало ясно, что в оценках эффективности «слолки» используются неправильные сечения ДТ-реакции. Эти сечения принимались равными сечениям ДД-реакции по одному из ее каналов, в то время как, согласно данным, переданным Фуксом, они в характерной области температур в 100 раз больше. 17 марта 1949 г. Харитон обратился к Берии с просьбой допустить к разведывательным данным по сечениям ДТ-реакции Тамма и Компанейца [11]. В письме Берии он писал: «Для обеспечения нормального хода работ» групп Тамма (ФИАН) и Компанейца (ИХФ) «они должны располагать экспериментальными данными по ядерному взаимодействию дейтерия и трития. Соответствующие экспериментальные работы пока не могут проводиться в связи с тем, что на комбинате 817 (теперь комбинат «Маяк». — Г.Г.) еще не налажено производство трития. Экспериментальные данные о взаимодействии дейтерия и трития содержатся в документе №713-а бюро №2 (такое обозначение было присвоено материалу К.Фукса 1948 г. по сверхбомбе), однако этот документ известен только очень узкому кругу лиц. Было бы очень полезно для дела, если бы т.т. Тамм и Компанеец имели бы в своем распоряжении данные о ядерных сечениях. Прошу Ваших указаний» [11. С.184—185]. Рассмотрев просьбу Харитона в соответствии с поручением Берии, М.Г.Первухин и П.Я.Мешик в письме от 23 марта 1949 г. доложили ему, что «передавать разведывательные материалы И.Е.Тамму и А.С.Компанейцу не следует, чтобы не привлекать к этим документам лишних людей». Однако они написали, что Тамму и Компанейцу необходимо сообщить экспериментальные данные по сечениям ДТ-реакции без ссылки на источник [11. С.185—186]. Такие данные были направлены Ю.Б.Харитоновым С.И.Вавилову и Н.Н.Семенову для работы группы Тамма и расчетов Компанейца 27 апреля 1949 г. На документе с сечениями, поступившем в ФИАН, Сахаров 7 мая 1949 г. сделал отметку об ознакомлении [11. С.208].

Отметим, что, отнеся к числу «лишних людей» Тамма, в «Заключении о некоторых научных, инженерных и других работах, работающих по тематике Первого главного управления» от 7 апреля 1949 г. Первухин и Мешик предложили отстранить Тамма (и целый ряд других ученых и специалистов) от работы по тематике ПГУ. Этот документ был подготовлен в связи с разработкой мер

по усилению режима секретности работ ПГУ [7. С.360]. В защиту Тамма и ряда других ученых выступил Ванников, выпустивший документ с поправками, которые он считал необходимым внести в «Заключение». В данной им в этом документе характеристике Тамма Ванников писал: «И.Е.Тамм — один из самых крупных теоретиков по ядерной физике; проделал много теоретических работ для нашей проблемы. Должен продолжать работать по заданию ПГУ» [11. С.234—235]. Разработанные по указанию Берии предложения по усилению режима секретности включали и рекомендацию следующего содержания: «В связи с тем, что академик Ландау и ряд физиков-теоретиков, работающих под его руководством, в политическом отношении не заслуживают доверия ..., считаем целесообразным создать при Лаборатории №2 группу теоретиков из числа проверенных лиц (т. Соболев, т. Блохинцев, т. Сахаров), поручив этой группе выполнение также теоретической работы с тем, чтобы через некоторое время заменить группу Ландау полностью, отстранив ее от работы по проблеме» (письмо В.С.Абакумова, Б.Л.Ванникова, М.Г.Первухина, А.П.Завенягина, П.Я.Мешика, Н.С.Сазыкина от 19 мая 1949 г.). Эта рекомендация не была выполнена [11. С.297—298], но служит свидетельством большого доверия к Сахарову руководством ПГУ и других официальных лиц.

Андрей Дмитриевич отметил в «Воспоминаниях», что в свой первый приезд на объект он «узнал много чрезвычайно для нас важного и неожиданного об атомных зарядах» [3. С.162]. Возвратившись в Москву, он 14 июня 1949 г. на основе ставших ему известными материалов работ КБ-11 составил «Список сведений, необходимых для работы группы И.Е.Тамма» [11. С.223]. В этом документе он писал: «Прошу отдельно отметить вопросы, с которыми могу ознакомить только И.Е.Тамма, или также и Гинзбурга В.Л. и Беленького С.З.». Перечень содержал, в частности, следующие вопросы:

Критическая масса при наличии оболочки (порядок величины).

«Сплошной», «оболочечный», «пушечный» варианты (без каких-либо конструктивных подробностей).

Теория СУВ, сходящейся ударной волны (элементарная).

Теория КПД. Порядок получающихся величин.

Подчеркнем, что речь в письме шла об ознакомлении Тамма и ведущих научных сотрудников его группы лишь с небольшой частью сведений, которые стали известны Сахарову, причем в самом общем виде. Из резолюции на документе можно заключить, что Ванников не разрешил направлять в ФИАН для группы Тамма какие-либо материалы КБ-11.

Однако вряд ли Сахаров перестал добиваться ознакомления Тамма со сведениями, необходимыми для работы его группы. Вероятно, речь шла и об ознакомлении Тамма с материалами Фукса.

О том, что обсуждение этого вопроса продолжалось, свидетельствует подписанное Харитоном 20 марта 1950 г. письмо в адрес Мешика следующего содержания: «В ответ на Ваш запрос №ОП—178 от 29 октября 1949 г. сообщаю, что данные из материала 713-а для т.т. Тамма и Компанейца направлены мною за №ОП—349 27 апреля 1949 г. в адреса т.т. Вавилова и Семенова как предварительные экспериментальные данные» [11. С.292]. Причины длительной задержки ответа Харитона на запрос Мешика неизвестны. Возможно, ответу предшествовало телефонное напоминание. Видимо, в это время как раз решался вопрос об ознакомлении Тамма и Компанейца с материалом №713-а в полном объеме.

Этот вопрос нашел положительное решение в марте 1950 г. Оно было принято Берией после ареста и осуждения Фукса английским судом 1 марта 1950 г. по обвинению в шпионаже. Как сообщил автору В.Б.Барковский, 29 марта 1950 г. по указанию Берии материал №713-а был направлен в АН СССР Вавилону для ознакомления с ним Тамма и Компанейца [13. С.100]. Поскольку речь идет об устном сообщении, автор этих строк во избежание какой-либо ошибки подготовил запрос в Службу внешней разведки с просьбой подтвердить его достоверность. В официальных ответах руководства СВР руководству Росатома от 10 сентября и 6 ноября 2007 г. говорится, что материал №713-а «не позднее 27 марта 1950 г.» «был направлен в Академию наук СССР С.И.Вавилону и Н.Н.Семенову для последующего ознакомления с этой работой И.Е.Тамма и А.С.Компанейца».

Ознакомление с материалами, поступившими по каналам разведки, производилось строго персонально. А в марте 1950 г. было принято решение об ознакомлении с материалом №713-а Тамма, незадолго до этого объявлявшегося «лишним», но речь почему-то не шла об ознакомлении с этим материалом «проверенного» Сахарова. Единственно возможное объяснение состоит в том, что Андрей Дмитриевич был ознакомлен с документом №713-а ранее (что следует, как говорилось выше, и из содержания написанного им в КБ-11 в июне 1949 г. плана работ по РДС-6).

По мере развертывания работ над «слоем» авторитет Сахарова постоянно возрастал. 26 сентября 1952 г. Курчатова подписал характеристику на Сахарова в связи с выдвижением его кандидатуры в члены-корреспонденты АН СССР. В частности, там говорилось: «Тов. Сахаров Андрей Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, является выдающимся молодым физиком-теоретиком, обладающим широкой эрудицией, глубиной и оригинальностью мысли... Защитив кандидатскую диссертацию в 1947 г., т. Сахаров с 1948 г. начал работу по тематике КБ-11. В конце 1948 г. им был предложен принцип создания нового типа изделия РДС, разработка которого при непосредственном руководящем участии т. Сахарова в насто-

ящее время заканчивается в КБ-11. В конце 1950 г. т. Сахаровым был предложен принципиально новый способ осуществления термоядерной реакции. В настоящее время большой группой ученых в Лаборатории №2 ведутся работы по проверке нового принципа, предложенного т. Сахаровым. Тов. Сахаров А.Д. является достойным кандидатом в члены-корреспонденты АН СССР» [11. С.534].

Авторитет Сахарова стал совершенно исключительным после успешного испытания РДС-6с 12 августа 1953 г. и избрания его в октябре 1953 г. действительным членом АН СССР (член-корреспондент АН СССР Зельдович во время этих выборов академиком избран не был). Доверие к Сахарову руководства страны и Министерства среднего машиностроения — атомного министерства, к которому после падения Берии 26 июня 1953 г. перешли функции ПГУ, было огромным. Достаточно сказать, что Андрея Дмитриевича, не бывшего членом КПСС, знакомили с секретными документами ЦК.

Если в первом правительственном постановлении о создании отечественной водородной бомбы №827-303сс/оп, принятом 26 февраля 1950 г., научным руководителем работ по ее созданию был назначен Харитон, то в постановлении СМ СССР №2835-1198сс/оп от 20 ноября 1953 г. «О разработке нового типа мощной РДС» научное руководство ее созданием было возложено непосредственно на Сахарова [13. С.115].

Представляется совершенно невероятным, чтобы Сахаров даже в это время не имел допуска к разведывательным материалам по проблемам ядерного оружия. Усилия огромного аппарата разведки были бы неэффективными, если бы добытые материалы не доводились до сведения пользующихся доверием специалистов, тем более таких, как Сахаров, на которых руководители страны и советского атомного проекта возлагали особые надежды.

Вернемся к событиям 1952—1953 гг. 2 декабря 1952 г., через месяц после проведения США 1 ноября 1952 г. термоядерного взрыва «Майк», Берия обратился к Курчатову с запиской, в которой говорилось: «Решение задачи создания РДС-6с имеет первостепенное значение. Судя по некоторым дошедшим до нас данным, в США уже проводились опыты, связанные с этим типом изделий. При выезде с т. Завенягиным в КБ-11 передайте тт. Харитону, Щелкину, Духову, Тамму, Сахарову, Зельдовичу, Забабахину и Боголюбову, что нам надо приложить все усилия к тому, чтобы обеспечить успешное завершение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с РДС-6с. Передайте это также и тт. Ландау и Тихонову» [11. С.555—557].

Записка Берии была написана сразу же после выпуска 28 ноября 1952 г. номера американского журнала «U.S. News & World Reports», в котором была опубликована статья «Все относительно водородной бомбы» (Горелик в публикации [2] воспроизводит фрагменты этой статьи). В ней гово-

рилась, что взорванная 1 ноября 1952 г. экспериментальная бомба была самой мощной из когда-либо созданных. Взрыв показал, что США в настоящее время овладели секретом водородной бомбы. «Ураново-водородный взрыв, который, по-видимому, и был успешно осуществлен на атолле Эниветок, был взрывом некой разновидности водородной бомбы “Модель-Т”, которую стремятся создать ученые». В ответе на вопрос: «Есть ли причина полагать, что русские тоже работают в этом направлении?» говорится, что «Да, есть» и что «Россия, очевидно, узнала все о ранних экспериментах и идеях США от британского коммуниста доктора Клауса Фукса, который участвовал в обсуждениях принципов водородной бомбы в Лос-Аламосе». Перевод статьи составил содержание совершенно секретного выпуска «Вестника иностранной служебной информации ТАСС» от 26 января 1953 г., который был размножен в 33 экземплярах и разослан Сталину, Маленкову, Берии и ряду других официальных лиц [11. С.548—553].

А 21 января 1953 г. Завенягин и Павлов обратились к Берии с письмом об улучшении бытовых условий для Сахарова, где говорилось: «Начальник отдела теоретической физики КБ-11 кандидат физико-математических наук Сахаров А.Д. является одним из способнейших физиков-теоретиков, привлеченных к нашим работам. Внося три года назад совместно с т. Таммом И.Е. предложение о создании изделия РДС-6с, т. Сахаров ведет с тех пор основную работу по этому направлению. В 1951 г. т. Сахаровым предложен способ получения атомной энергии с помощью МТР (магнитный термоядерный реактор. — ГЛ.). В 1952 г. им же выдвинута идея использования магнитной кумуляции для сверхмощного обжатия. Продуктивной работе Сахарова мешает неустроенность его в бытовом отношении» [11. С.592—593]. Письмо содержало ряд предложений. В нем, в частности, отмечалось: «Дополнительно считаем необходимым... Учитывая исключительную скромность т. Сахарова, нежелание и неумение позаботиться о самых необходимых своих нуждах, зачислить за счет КБ-11 экономку для организации питания и ухода за квартирой». В числе принятых по письму мер в соответствии с указанием Берии от 3 марта 1953 г. Сахарову был предоставлен в г.Сарове отдельный коттедж с обстановкой. Андрей Дмитриевич с семьей был прикреплен к поликлинике Лечебно-санаторного управления Кремля и получил 100%-ю надбавку к окладу.

Неужели, возлагая большие надежды на Сахарова и проявляя в связи с этим заботу о его бытовых условиях, руководители советского атомного проекта могли при этом не заботиться об информационном обеспечении его работы и не знакомить его даже с немногими открытыми публикациями по водородной бомбе, содержащими сведения, в том числе, и технического характера? Ведь в статье из «U.S. News & World Reports» от 28 ноября 1952 г.

«Все относительно водородной бомбы» впервые было заявлено о вероятном осуществлении США 1 ноября 1952 г. мощного «ураново-водородного» взрыва. И мог ли Сахаров, знакомясь со статьей, в которой говорилось о передаче Фуксом СССР данных о ранних экспериментах и идеях США по водородной бомбе, не задумываться о содержании таких данных и происхождении проекта «трубы»? Мне это представляется невозможным, какие бы сомнения ни выражал по этому поводу Горелик.

Работая в отделе, а затем в секторе Сахарова с 1952 г., я впервые узнал о факте передачи Фуксом СССР сведений по атомной проблеме именно от Андрея Дмитриевича, который рассказывал об этом своим сотрудникам. Имел ли он на это право, если бы не знал об открытых публикациях в зарубежной печати? О большой осведомленности Сахарова в содержании материалов разведки говорит и то обстоятельство, что, рассказывая нам о Клаусе Фуке, он ругал московское начальство за то, что до сведения ученых доводилась лишь часть поступившей информации. Другая часть использовалась, как он полагал, для оценки встречных предложений. Не имел ли он в виду ставший ему ясным факт, что Д.А.Франк-Каменецкий, с которым он тесно сотрудничал и выпустил в конце 1954 г. совместный отчет о перспективах разработки двухступенчатых зарядов на принципе радиационной имплозии (знаменитый отчет, получивший у теоретиков название «три восьмер-

ки»), был допущен ко всем разведывательным материалам, хранившимся в сейфе Харитона, кроме материала Фука №713-а? [10. С.517]. И не способствовал ли этот факт, который мог стать известным Франк-Каменецкому и восприниматься им как недооценка его творческого потенциала, конфликту, возникшему у него с руководством КБ-11, в результате которого он вскоре прекратил работу над зарядами, стал заниматься астрофизикой и в 1956 г. уехал с объекта?

Сказанное выше еще и еще раз говорит об условном характере утверждения Сахарова в его «Воспоминаниях» о том, что зарубежное происхождение проекта «трубы» является его недавней догадкой и что «тогда» он «об этом просто не задумывался», а подтверждение своей догадки получил только в 1987 г. из статьи Д.Холлоуэя (Холлоуэя).

Сахаров, несомненно, не мог быть незнаком с содержанием материалов по водородной бомбе, поступивших в СССР по каналам разведки. Однако это обстоятельство никак не ставит под сомнение честность Андрея Дмитриевича — его высказывание в «Воспоминаниях» относительно проекта «трубы» было условным и вынужденным.

В следующем номере «Природы» мы продолжим начатый разговор, в частности рассмотрим вопрос: было ли самостоятельным открытием «третьей идеи».

**Окончание статьи
в следующем номере.**

Литература

1. Гончаров Г.А. // УФН. 2005. Вып.175. №11.
2. Горелик Г.Е. Секретная физика и научная этика // Природа. 2007. №7.
3. Сахаров А. Воспоминания. Т.1 М., 1996.
4. Гончаров Г.А. // УФН. 1997. Вып.167. №8.
5. Феоктистов Л.П. Водородная бомба: кто же выдал ее секрет // Труды Международного симпозиума «Наука и общество. История советского атомного проекта: 40—50-е годы». Т.1. М., 1997.
6. Горелик Г.Е. // Трибуна УФН. 19.05.2006.
7. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.2. Атомная бомба. Кн.1 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко, В.П.Федоритов. М.; Саров, 1999.
8. Гончаров Г.А. // УФН. 1996. Вып.166. №10.
9. Goncharov G.A. // Physics Today. 1996. V.49. №11.
10. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.2. Атомная бомба. Кн.6 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко. М.; Саров, 2006.
11. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.3. Водородная бомба. Кн.1 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко. М.; Саров, 2008.
12. Гончаров Г.А. // Трибуна УФН. 19.05.2006.
13. Гончаров Г.А. Термоядерный проект СССР: предыстория и 10 лет пути к водородной бомбе // История советского атомного проекта: Документы, воспоминания, исследования. Вып.2. М., 2002.
14. Teller E. Comments on Bethe's history of thermonuclear program. August 14, 1952. Record of JCAE, Record Group 128, National Archives.
15. Архив Росатома. Д.24—16343.
16. Holloway D. // Physics Today. 1996. V.49. №11.
17. Hirsch D., Mathews W. // Bulletin of the Atomic Scientist. 1996. January/February.
18. Hirsch D., Mathews W. // Bulletin of the Atomic Scientist. 1997. July/August.
19. Харитон Ю.Б., Адамский В.Б., Смирнов Ю.Н. // УФН. 1996. Вып.166. №2.
20. Романов Ю.А. Отец советской водородной бомбы // Этюды к научному портрету. Глазами коллег и друзей. Вольномыслие. М., 1991.

Антимиры

Р.К.Расцветаева,

доктор геолого-минералогических наук
Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН
Москва

Классическая кристаллохимия рассматривает тетраэдры (и их комплексы), в которых вершины заняты атомами кислорода, а в центре находится катион*. Заряд таких тетраэдров отрицательный: от -1 до -7 . Кристаллохимия соединений с аниоцентрированными тетраэдрами** является «обратной» по знаку заряда, поскольку вершины тетраэдров заняты катионами, а в центре находится атом кислорода или другого аниона. Таких минералов открыто пока немного, а их кристаллохимия отличается рядом особенностей.

Пролог

Это началось еще в прошлом веке, 30 лет назад, когда на далекой Камчатке произошло Большое трещинное Толбачинское извержение (сокращенно БТТИ). И поныне среди раскаленных пород лунного пейзажа в гейзерах и фумаролах жизнь бьет ключом и кипит в буквальном смысле слова. Жара стоит невыносимая — температура зашкаливает за 300°C . Сквозь пар ничего не видно, а сквозь грохот ничего не слышно. Газы и металлы со страшной скоростью носятся взад и вперед, натывая друг на друга. Одним словом не опишешь, а двумя — Содом и Гоморра...

* См.: Расцветаева Р.К. Конкурс красоты // Природа. 2005. №4. С.26—32.

** См.: Кривовичев С.В., Филатов С.К. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами аниоцентрированных тетраэдров. СПб., 2001.

Однажды атом кислорода случайно выскочил из облака пара и где-то приземлился, вернее приминералился. Осмотрелся и подивился: тихо и спокойно, всюду порядок и уют, каждый сидит на своем месте и занят своим делом. Красота! И захотелось ему здесь остаться... По правде говоря, надоела ему эта фумарольная жизнь — один пар и суета. Конечно, поначалу она кажется привольной и прикольной, но когда взрослеешь и задумываешься о смысле жизни, начинаешь понимать всю пустоту такого времяпрепровождения...

Кислород стал присматриваться, куда бы ему пристроиться, но все места оказались заняты, ни одной свободной вершины у тетраэдров. Кислород огорчился, что оказался лишним, но возвращаться не хотелось. Ему бы только за что-нибудь зацепиться. И тут его осенило... Вместе с ним приминералились несколько атомов алюминия, которые тоже без дела болтались. Расхрабрился кислород и скомандовал: «Вас тут много — хоть пруд пруди, а я один. Постройте вокруг меня тетраэдр!». Получилось неплохо, тетраэдр $[\text{OAl}_4]$ с виду такой же, как $[\text{AlO}_4]$ или $[\text{SiO}_4]$, и по размеру ничем не отличается, а по прочности даже превосходит. А поскольку он металлический, то легко притянулся к соседним кислородам, которые даже не заметили, что их соотечественник сидит в алюминиевой клетке. Конечно, таких тетраэдров шиворот-навыворот свет не видывал. Это не тетраэдр, а анти-тетраэдр какой-то. Но идея сработала. Ученые назвали лишний

кислород «дополнительным», а его тетраэдр «оксоцентрированным».

Кислород обрадовался: «Кому-то может показаться, что я заперт в металлической клетке. Но как на это посмотреть... Я надежно защищен от вторжения посторонних, а моя стража безоговорочно мне подчиняется. Вон и ученые не считают меня лишним, а уважительно называют «дополнительным». Уж если на то пошло, то лучше быть дополнительным начальником, чем основным подчиненным».

Серия первая

Так повелось, что кислороды испокон веку состояли на службе у кремния, алюминия, фосфора, серы, железа, титана, ниобия и многих-многих других мелких и крупных господ. А почему бы им не поменяться ролями? Какая разница? Вместо тетраэдра $[\text{MO}_4]$ будет $[\text{OM}_4]$. Ведь удалось же одному кислороду доказать, что он ничуть не хуже любого металла.

Примеру успешного соотечественника последовали и некоторые другие фумарольные кислороды. Они стали приминерализовываться куда попало и получили там статус «дополнительных». Дополнительные кислороды оказались сильны на выдумки. Они подговорили металлы совместно покидать родные фумаролы и появлялись на новом месте сразу во всем своем тетраэдрическом окружении. Соригентировавшись, принимали решение, что им строить, используя доступные ресурсы. При этом они старались не кон-

фликтовать с местными тетраэдрами, треугольниками или октаэдрами, а подружиться с ними. Ведь металлические тетраэдры несли на себе заряд, который надо было нейтрализовать. Отрицательные аборигены боролись с положительными зарядами, но предпочитали держаться от пришельцев на расстоянии.

Освоившись, новые тетраэдры (чуть было не сказала — новые русские) стали устанавливать свои правила общежития. Местным тетраэдрам и прочим жителям было предписано соблюдать дистанцию, располагаться строго параллельно граням металлических тетраэдров и следовать их ориентации. Это правило №1 ученые так и называют «грань-к-грани».

Вот так по принципу «грань-к-грани» и сосуществуют в **фингерите** антитетраэдры $[OCu_4]$ и тетраэдры $[VO_4]$, в **хильгенстоките** крупные антитетраэдры $[OSa_4]$ и мелкие тетраэдры $[PO_4]$, в **плюмбонакрит** антитетраэдры $[OPb_4]$ уживаются с треугольниками $[CO_3]$, а в **сведенборгите** антитетраэдры $[OBe_4]$ соседствуют с солидными октаэдрами $[SbO_6]$.

Серия вторая

Новые тетраэдры скоро смекнули, что им выгодно объединяться друг с другом. При этом они экономят не кислород, как обычные тетраэдры, а металлические ресурсы, что, конечно же, важнее. Взяв за образец диортогруппы $[Si_2O_7]$, **бернсит** склеил в одной вершине два



антитетраэдра $[OCu_4]$. Получилась настоящая антидиортогруппа $[O_2Cu_7]$, и при этом сэкономлен целый атом меди. Ну

а два обычных треугольника $[SeO_3]$ пристроились к антидиортогруппе в соответствии с правилом «грань-к-грани».

Со временем выяснилось, что у новых тетраэдров есть преимущество перед обычными — они могут соединяться в одной вершине не только по два (как SiO_4 -тетраэдры), но и по три, четыре, аж до восьми штук. Правда, в природных соединениях дело так далеко не заходит, но в синтетических всякое встречается. В одном минерале, который пока еще и собственного названия не имеет, соединились четыре антитетраэдра $[OCu_4]$ и получился один большой металлический шар $[O_4Cu_{13}]$, на постройку которого вместо 16 атомов меди ушло 13. Между шарами расположились треугольники $[SeO_3]$ и 16 анионов Cl, которые совместными усилиями погасили огромный положительный заряд шара.

Но когда металлические тетраэдры продемонстрировали свою способность объединяться друг с другом по ребрам, это стало настоящей сенсацией. Ведь обычные тетраэдры этого делать не умеют. В **федотовите** два медных антитетраэдра объеди-



нились по ребру в группу-бабочку $[O_2Cu_6]$, благодаря чему еще больше сэкономили медь и одновременно уменьшили положительный заряд. А три $[SO_4]$ -тетраэдра пристроились к бабочке законным образом, т.е. «грань-к-грани», но явно переборщили с отрицательным зарядом и пришлось между слоями разместить катионы калия. Глядя на федотовит, сульфатный народ дивился: «Федот, да не тот!».

Объединяться по ребрам, конечно, круто, но и это не предел. Есть случаи объединения даже по грани, но пока только в искусственных соединениях...

Серия третья

Такого же эффекта экономии ресурсов некоторые добились, объединяясь в цепочки.

Символ Камчатки — **камчаткит**, а также его товарищи — **хлороменит** и **вергасоваит** соорудили медные цепочки $[O_2Cu_3]$,



которые по виду не отличишь от пироксеновых или пироксеноидных $[Si_2O_6]$. В них на душу кислорода приходится не четыре, а три атома меди. Антицепочки стали главными в этих минералах, а на вспомогательных ролях оказались в камчатките и вергасоваите тетраэдры серы, а в хлоромените — селеновые пирамиды и хлор. И конечно же, тетраэдры, как и пирамиды, расположились своими треугольными гранями, соблюдая правило «грань-к-грани».

До камчатских минералов дошли слухи, что еще большую экономию меди получили на вулкане Изалько, что в Сальвадоре. В минерале с названием **стойберит**, призывающим «стоять» и «брат» (только не понятно, где стоять и что



брат), две цепочки пироксенового типа склеились через общие ребра в ленту $[O_2Cu_3]$, и на каждый кислород приходится

уже не 3, а 2.5 атома меди. А между антилентами расположились тетраэдры $[VO_4]$, конечно же, «грань-к-границ».

Компромиссный вариант с таким же результатом реализовал камчатский житель **георгобоксит**, но его антицепочка $[O_2Cu_3]$ одинарная и состоит из тетраэдров, попарно склеенных по ребру. А соединяют медные цепочки селеновые группы $[SeO_3]$ и атомы Cl.

Их примеру последовали минералы с $[VO_3]$ -треугольниками (**людвигит**, **вонсенит**, **такеучит**, **ортопинакиолит**). Железные и магниевые тетраэдры объединились вершинами в двойные ленты $[O_2Fe_2]$ и $[O_2Mg_2]$ и тем самым сократили потребление железа и магния на душу кислорода до 2.5.

Еще большей экономии магния добился **варвикит**, тоже борат. Его лента $[OMg_2]$ состоит



из тех же двух цепочек магниевых тетраэдров, но склеенных по ребрам, и на душу кислорода приходится только два атома магния. Подобной лентой, но свинцовой $[OPb_2]$, обзавелся и сульфатный **сидпитерсит**.

Такую же экономию, но более ценной меди, получили в **копарсите**, **пийпите** и **ключевските** (тоже символ Камчат-



ки). Цепочки $[OCu_2]$ переложены $[SO_4]$ -тетраэдрами, а в копарсите — мышьяковыми тетраэдрами $[AsO_4]$ и Cl. Свинцовые цепочки $[OPb_2]$ — пример бережливого отношения к запасам свинца в **ланарките**, **феникохроите**, **элиите** и **филолитите**. В элиите двойные антицепочки $[O_2Pb_4]$ соединяются всеми возможными способами — тетраэдрами $[SO_4]$, OH-группами и молекулами воды. На то он и элитный этот элиит.

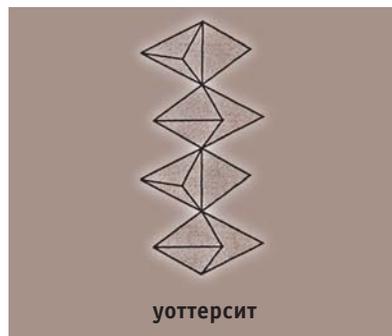
В **вальпургите** цепочки $[O_2Bi_4]$ существенно экономят дорогостоящий и редкий висмут. Предельно экономичную свинцовую ленточку $[O_2Pb_3]$, в которой на душу кислорода приходится 1.5 атома свинца, построил **хлороксифит**. Он, не мудрствуя лукаво, взял две



одинарные антицепочки, в которых тетраэдры связаны ребрами, и склеил их тоже по ребрам. К обслуживанию антиленточки он привлек также ленты $[Cu(OH)_2Cl_2]$ из октаэдров, связанных общими гидроксильными ребрами. Хлороксифит (как и хлороменит) гордился не свинцом или медью, а хлором (как будто в других минералах его мало), и даже вставил его в свое имя.

Такого же результата добились и **фетиасит**, соорудив четырехкратным склеиванием простых цепочек ленту $[O_2Fe_3]$, хотя железо можно бы и не экономить, невелика ценность. Объединились ленты с помощью групп $[As_2O_3]$.

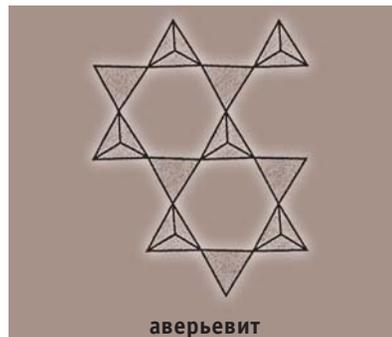
Но максимально экономичную цепочку $[O_4Hg_5]$ продемонстрировал **уоттерсит**. Здесь на душу кислорода приходится чуть больше одного атома ртути, что очень кстати, учитывая



ее и токсичность, и дороговизну. А между антицепочками разместились обыкновенные хромовые тетраэдры.

Серия четвертая

Конечно, выстраиваться рядами — неплохая форма солидарности, но можно сплотиться и надежнее. Объединяться так объединяться! Хотя бы в слой. **Аверьевит** и **ильинскит** построили слои $[O_2Cu_5]$ из медных



тетраэдров, соединенных друг с другом через вершины. Слой получились точь-в-точь как $[Si_2O_5]$ в слюдах. И петли такие же — из шестерных колец. Но есть и отличие: слой $[Si_2O_5]$ односторонний, а в медных слоях незанятые вершины тетраэдров обращены в противоположные

стороны от плоскости слоя — через один в аверьевите и попарно в ильинските.

И конечно же, антислой стали основой минерала, а обычные тетраэдры $[VO_4]$ в аверьевите и $[SeO_3]$ -треугольники в ильинските, как бедные родственники, ютятся между слоями, в точности повторяя ориентацию их тетраэдров.

Для слоев **митридатита** не хватило кальция, поэтому пришлось присоединить к нему железо $[O_2Ca_2Fe_3]$, а в **параробертсците** не хватило и железа, пришлось подмешать марганец — $[O_2Ca_2Mn_3]$. И между этими намешанными слоями ютятся фосфорные тетраэдры.

В сульфатном **долерофаните** слои $[OCu_2]$ устроены по другому принципу. Они состоят



из диортогрупп-бабочек, объединенных вершинами. Между слоями расположились тетраэдры $[SO_4]$.

И слой $[O_2BiCu_3]$ во **францисците** тоже построен из бабочек $[O_2Cu_6]$, объединенных неподделенными медными вершинами. Слои переложены пирамидами SeO_3 , которые следуют ориентации граней антитетраэдров слоя. А в центре шестиугольных петель пристроились атомы хлора.

Реберносвязанные тетраэдры $[O_2M_3]$ образуют цепочки, а потом и слои $[O_2(Na,Ca,Ce)_3Ti]$ в **мозандрите** и $[O_2(Mg,Mn,Fe)_3Mn]$ в **пинакиолите**. При этом в цепочках в одной вершине сходятся четыре тетраэдра. В мозандрите слои переложены обыкновенными диортогруппами $[Si_2O_7]$, а в пинакиолите — треугольни-

ками $[BO_3]$, тоже весьма обыкновенными. Все бы ничего, но уж очень слои пестрят катионами.

— Что это вас тут так много? — изумились дополнительные кислороды.

— А мы командировочные, прибыли на Конференцию. Чиновники нам дают на сон в гостинице только 550 рублей, вот мы и спим по очереди на одной койке. Они считают, что спать надо дома, а на Конференции нужно работать. И на еду нам дают 100 рублей, «суточные» называются.

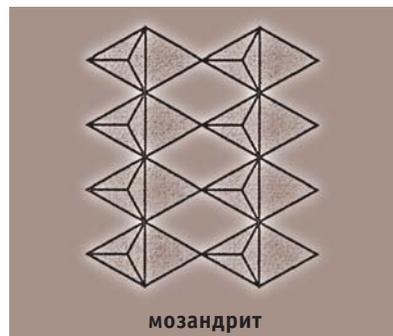
— Так это же на один бутерброд!

— Ну, да. Они считают, что сытый не может быть пытливым.

По-другому устроены тоже намешанные слои в **брэнделите** $[O_2(Bi,Pb)_2Fe]$ и **намибите** $[O_2Bi_2Cu]$. Они состоят из сид-



питерситовых лент, соединенных через выпирающие с боков вершины тетраэдров. Между слоями в брэнделите фосфорные, а в намибите ванадиевые тетраэдры. Завистники подшучивают над именами этих минералов. Но какая разница, бит или не бит и кем бит, а также сбрендил или остался в своем уме, главное результат: четкий и компактный слой.

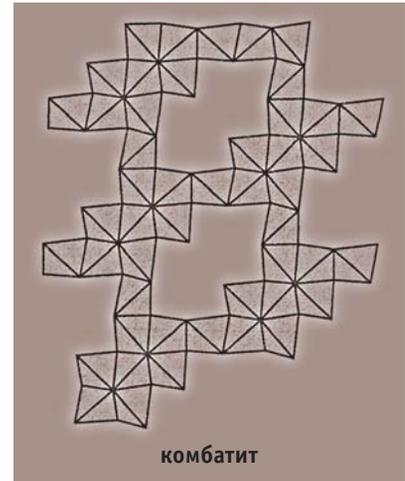


Но самые экономичные — слои с одинаковым количеством металла и кислорода. Плоские сплошные слои получаются при объединении антитетраэдров по ребрам без пробелов. А если это еще и свинцовые слои, как в **бисмутите**, **бейерите**, **кехлините**, **русселлите** и **кеттнерите**, то кажется, что тяжелые



свинцовые плиты вот-вот раздавят хрупкие треугольники $[CO_3]$ или тетраэдры $[MoO_4]$ и $[WO_4]$, приютившиеся между ними.

Другое дело слой $[O_9Pb_{14}]$ у **комбатита**. Он тоже свинцовый, но не сплошной, потому



что из него вырезали семь тетраэдров $[OPb_4]$. Слои соединяются через тетраэдры $[VO_4]$ по принципу «гость-хозяин», и конечно же, хозяин — это катионный слой, хотя и дырявый.

Такой же дырявый слой $[O_4Cu_6Te]$ в **набокоите**. Он состоит из тетраэдров $[OCu_3Te]$, которые соединяются в четверные квадратные блоки $[O_4Cu_8Te]$, связанные через боковые вершины Cu. В центре квадратного блока катионы Te^{4+} , а соединя-

ются слои через сульфатные тетраэдры.

Еще один дырявый слой $[\text{O}_2\text{Pb}_{10}]$ построил **саймесит**. Он вырезал из сплошного слоя квадратные блоки, состоящие из четырех антитетраэдров $[\text{OPb}_4]$. И конечно же, как и в комбатице, хозяином положения оказалась катионный слой, а все прочие — сульфатные группы, хлор и молекулы воды — гости.

Серия пятая

Антитетраэдры уже не сомневались, что кооперация — прибыльное дело, позволяющее экономить драгоценные и не очень металлы. Неслучайно одиночные антитетраэдры встречаются редко, а цепочечные в два раза чаще. Слоистых минералов еще больше, чем цепочечных, но больше всего минералов предпочло максимальную кооперацию — каркасную.

Антикаркасы устроены в соответствии с принципом №2 «гость—хозяин». Новые тетраэдры объявили, что в демократическом обществе все равны и хозяевами могут быть как анионные каркасы, так и положительно заряженные. Однако на деле почему-то чаще всего хозяевами становились металлические антикаркасы, а гостями — аборигены. Но как только начали говорить об ущемлении прав коренного населения, оппозиционеры сразу же продемонстрировали **филолитит**, получивший имя в честь любителей камня (филол + литос). Его сложный анионный каркас из цепочек октаэдров $[\text{Mn}(\text{O},\text{OH})_6]$ и $[\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_6]$ с участием тетраэдров $[\text{SO}_4]$ и треугольников $[\text{CO}_3]$ пронизан в трех направлениях каналами, в которые вставлены свинцовые стержни $[\text{OPb}_2]$ из связанных ребрами свинцовых тетраэдров. Любители камня от такой эклектики обалдевали и на других примерах не настаивали.

Однако обратных примеров хоть пруд пруди...

Пироклолы взяли за образец кристобалитовый каркас $[\text{SiO}_2]$ и сделали свой антикаркас $[\text{OM}_2]$, используя металлы Bi , Pb и др. А в полостях каркаса чего только нет — группы $[\text{Cr}_2\text{O}_6]$, $[\text{Ti}_2\text{O}_6]$ и многое-многое другое.

Грандидьерит считал, что он достоин не менее грандиоз-



грандидьерит

ного каркаса $[\text{O}_2\text{MgAl}_3]$. Но поразмыслив, решил, в отличие от пироклолов, за образец взять не кристобалит, а тридимит. Ну а кремниевые тетраэдры и борные треугольники разместились в каналах шестиугольного сечения.

Шутник **шутеит** $[\text{O}_2\text{Hg}_3]$ построил такой каркас, который можно трактовать двояко: либо состоящим из островных комплексов $[\text{O}_2\text{Hg}_6]$, связанных через вершины антитетраэдров, либо совокупностью слоев $[\text{OHg}_2]$, тоже связанных посредством вершин. И этот загадочный каркас он наполнил тривиальными серными тетраэдрами.

В минерале с замысловатым названием **годефруаит** и каркас $[\text{O}_3\text{M}_7]$ тоже необычен. Он



годефруаит

состоит из «бантиков», завязанных из трех тетраэдров, сходящихся в одной вершине. Сами тетраэдры $[\text{O}_6\text{Ca}_8\text{Mn}^{3+}_6]$ крупно-

ваты, но внутри каркаса разбросаны легкие миниатюрные треугольники — $[\text{VO}_3]$ и $[\text{CO}_3]$.

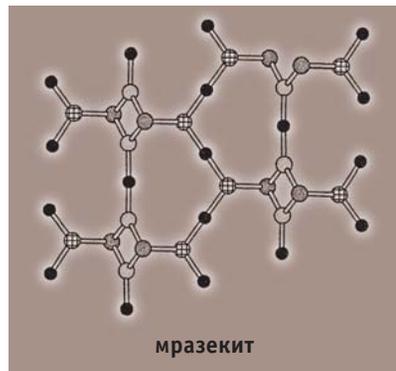
Серия шестая

Фумарольным кислородам не всегда удается обзавестись свитой из четырех металлов, иногда приходится довольствоваться и меньшим числом. Приминерализуются они чаще всего в окружении трех не крупных трехвалентных катионов Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Bi^{3+} ... Самые распространенные — минералы с висмутовыми антитрехугольниками.

Прайзингерит соорудил из двух соединенных по ребру антитрехугольников $[\text{OBi}_3]$ с помощью двух гидроксильных групп острова $[\text{O}(\text{OH})\text{Bi}_3]$, между которыми приютились мышьяковые тетраэдры $[\text{AsO}_4]$.

Слои $[\text{O}(\text{OH})\text{Bi}_2]$ в **ателестите** и **хехтсбергите** построены из тех же двоянных антитрехугольников, соединенных ОН-группами.

В **мразеките** висмута не хватило даже на треугольники,

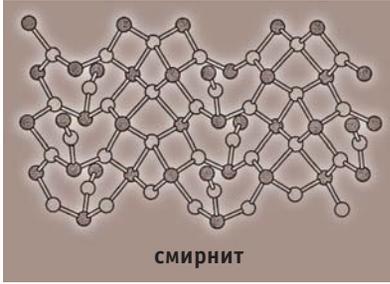


мразекит

и тогда в ход пошла медь. В этой компании дополнительный кислород построил антислои $[\text{O}_2(\text{OH})_2\text{Bi}_2\text{Cu}_3]$, между которыми расположились фосфорные тетраэдры и молекулы воды.

Каркасные постройки в **палькеллерите** и **меденбахите** состоят также из треугольников висмута с добавкой железа $[\text{O}_2(\text{OH})_2\text{Bi}_2\text{Fe}]$, а в их каналах находятся фосфорные и мышьяковые тетраэдры соответственно.

Скромный **смирнит**, проживающий в древних рудниках Ар-



мени, обошелся без добавок постороннего металла и ухитрился построить слой $[O\text{Bi}_2]$, используя все наличные ресурсы висмута — тетраэдрические $[O\text{Bi}_4]$, треугольные $[O\text{Bi}_3]$ и даже димерные $[O\text{Bi}_2]$.

Глядя на висмутовые минералы, **шэннонит** тоже построил антицепочку $[O\text{Pb}_2]$ из соединенных по вершинам треугольников $[O\text{Pb}_3]$, очень похожую на пироксеновую, но с одной свободной вершиной в каждом треугольнике, а другой свободной вершины у него никогда и не было.

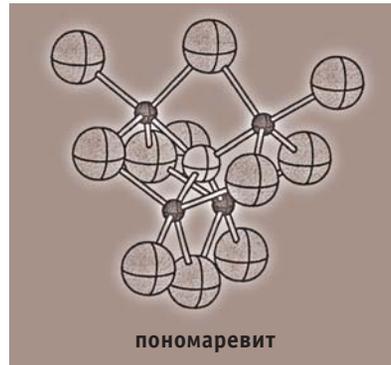
Серия седьмая

Не все дополнительные кислороды дружелюбно настроены по отношению к коренному населению. Некоторые решили отделиться и жить независимо в своих собственных минералах. Сепаратисты объявили, что им не нужны посредники в виде местных тетраэдров или треугольников. Они сами с усами и могут жить как им заблагорассудится. Однако они забыли, что заряжены положительно, а в заряженном состоянии ни один минерал жить не может. Немного опомнившись, они стали искать выход из положения. Проще всего было потратиться на гастарбайтеров — Cl, F, OH...

Друзья **мендипит** и **дамараит** позавидовали у хлороксифита свинцовую цепочку $[O_2\text{Pb}_3]$, но решили отказаться от услуг его медных октаэдров и обойтись меньшими затратами. Поэтому в мендипите цепочки $[O_2\text{Pb}_3]$ объединяются двумя ато-

мами Cl, а дамараит сэкономил на одном хлоре, заменив его более дешевым гидроксидом.

Не искушенный в мирских делах **пономаревит** нанял несколько хлоров. Те призвали из ближнего зарубежья кучу родственников и знакомых, которые тотчас облепили несчастный антитетраэдр $[OCu_4]^{6+}$. Хлоров было столько, что они сделали медный тетраэдр отрицательным $[OCu_4Cl_{10}]^{4-}$. Чтобы испра-



вить положение, пономаревиту ничего не оставалось, как потратиться еще и на четыре атома калия.

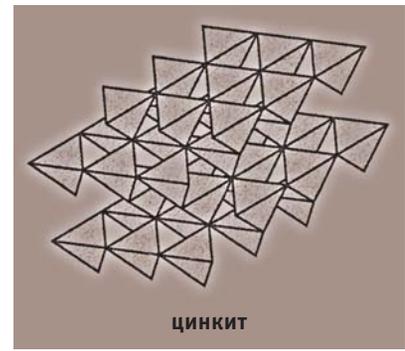
Печальный опыт пономаревита побудил других обходиться без посторонней помощи. И некоторым это удалось.

Ушлый, с купеческой смекалкой **куприт** приобрел сразу два медных каркаса $[OCu_2]$ кристаллитового типа $[\text{SiO}_2]$. Каркасы не пересекаются, и оба электронейтральные. Как ему это удалось? Легко! Он понизил валентность меди и обошелся без всяких гастарбайтеров.

А вот меланхоличный **меланоталлит** не решился на столь радикальные меры, поэтому ему пришлось в купритовом каркасе $[OCu_2]$ разместить два хлора.

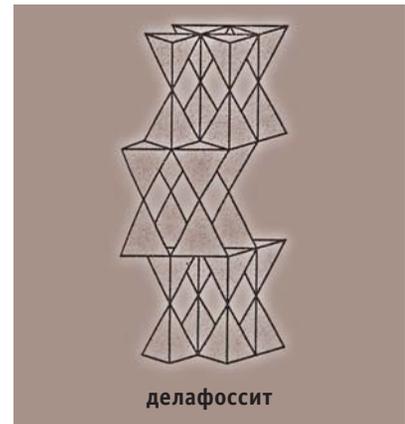
Тенорит, названный в честь итальянца Теноре (но не тенора, а ботаника), свой каркас $[OCu]$ составил из антицепочек $[OCu_2]$, связанных между собой вершинами медных тетраэдров, и тем самым сделал его электронейтральным, даже не понижая заряда двухвалентной меди.

Циничный **цинкит** не привык церемониться и сделал свой тетраэдрический каркас $[O\text{Zn}]$



двусторонним. И какая, в конце концов, разница, что в центре тетраэдров — Zn или O? Лишь бы оба каркаса были нейтральные. Его не смутило даже то, что в оксоцентрированном каркасе он связал в узел по четыре (!) тетраэдра $[O\text{Zn}_4]$. Так же решил проблему каркаса $[O\text{Be}]$ и **бромеллит**.

Нейтральный каркас $[OM]$ можно построить и из слоев. В **делафоссите** атомы кислорода окружены одним атомом Cu^+ и тремя Fe^{3+} . Тетраэдры $[OCu\text{Fe}_3]$



соединяются железными ребрами в слои, а медными вершинами в каркас. В **креднерите** такой же каркас из слоев, но не железных, а марганцевых.

Но не только каркасы бывают самодостаточны. Особой популярностью пользуются слои $[OM]$ бисмутитового типа. Из них построены многие свинцовые (глет, асисит, перит, надорит, торикосит, паркинсонит) и висмутовые (заварицкит и бисмоклит) минералы. Из всей этой компании только **глет** имеет самодостаточный слой $[O\text{Pb}]$. Остальные нуждаются в тушителях заряда и не могут

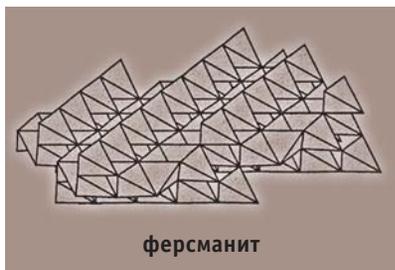
обойтись без хлора или фтора.

Еще один самодостаточный слой [OPb], но другой формы, имеет минерал со звучным названием **массикот**, которое в переводе с французского означает всего-навсего «окись свинца».

Серия восьмая

Мода на оксоцентрированные тетраэдры стала быстро распространяться. Многие камчатские (и не только камчатские) минералы стали приглашать лишние кислороды на роль «дополнительных». И не только кислороды, а и хлор, фтор, серу, азот. И то сказать, чем они хуже кислорода? Такие же отрицательные. Один азот чего стоит, он даже отрицательнее кислорода. Их тетраэдры ученые назвали анионоцентрированными.

И вот на горе Кукисвумчорр, что на Кольском п-ове, фтор пригласили поучаствовать на паях с кислородом в постройке антислоев **ферсманиита**. Предложение было заманчивым, нечасто удается пристроиться к минералу, названному именем знаменитого человека. Вдвоем с кислородом они намуद्रили слой $[O_8F_3(Ca,Na)_8(Ti,Nb)_4]$, при-



соединив к плоскому слою [OM] с верхней и нижней сторон цепочки $[OM_3]$. На этом их фантазии иссякли, и между слоями они поместили простые диортогруппы $[Si_2O_7]$.

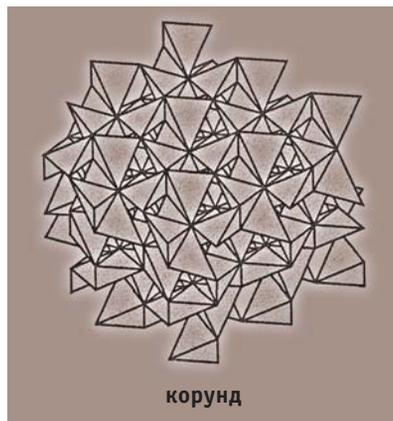
Набравшись опыта, фтор организовал свое дело, без помощи кислорода. И начал с грандиозного минерала, который так и называется **грандрифит**. Не мудрствуя лукаво, он постро-

ил свинцовые слои $[F_2Pb_2]$, аналогичные бисмутитовым $[O_2Bi_2]$. В **кухаренкоите** же состряпал слой $[FSeBa_3]$ из того, что попало под руку, а треугольники $[CO_3]$ пристроил к слоям, как и полагается, «грань-к-границ».

Серия девятая

Популярность новых минералов выросла настолько, что некоторые из обычных, поддавшись моде, пожелали приписаться к антимирам.

Нантоцит $[CuCl]$, **галит** $[NaCl]$ и **сильвин** $[KCl]$ заявили, что они всегда мечтали стать Cl-центрированными каркасами. Да и делать-то ничего не надо, только переставить местами хлор и металл — $[ClCu]$, $[ClNa]$, $[ClK]$ — и готово.



Взять хотя бы **кианит** (в переводе с греческого — темно-синий). Он всегда был добропорядочным представителем старого мира. Его октаэдры $[AlO_6]$ были вне подозрения. Но однажды он посмотрел на себя со стороны и обнаружил цепочки $[OAl_2]$, между которыми болтаются тривиальные $[SiO_4]$ -тетраэдры.

Еще возмутительнее повел себя знаменитый **корунд** $[Al_2O_3]$. Во всех учебниках написано, что этот минерал имеет двухслойную плотнейшую упаковку из атомов кислорода, а алюминий находится в октаэдрических пустотах. Конечно, не все пустоты заполнены алюминием, а только 2/3, и в упаковке атомов кислорода имеются некоторые

отклонения от плотнейшей гексагональной, но это еще не повод для недовольства. Однако корунд настоял на том, чтобы его считали каркасным, состоящим из антитетраэдров $[OAl_4]$, соединенных по ребрам. Его примеру последовали **гематит** $[Fe_2O_3]$, **карелианит** $[V_2O_5]$ и **эсколаит** $[Cr_2O_3]$. Их не смущало даже то, что каркас получился сложный, потому что на одном ребре соединяются по три антитетраэдра!

Но настоящей экзотикой стали N^{3-} -центрированные тетраэдры в каркасах $[NHg_2]$ кристобалитового типа в **мозезите** и тридимитового типа в **клейните**, внутри которых поместились обычные серные тетраэдры и даже молекулы воды.

И бравый **браунит** тоже решил шагнуть в ногу со временем и объявил, что ему надоели эти тривиальные октаэдры $[MnO_6]$ и восьмивершинники $[MnO_8]$, гораздо интереснее выглядишь с тетраэдрами $[OMn_4]$, из которых получается такой оригинальный каркас $[O_8Mn_7]$.

Что тут возразишь, ведь это их выбор... Правда, некоторые перебежчики, прописавшись на новом месте, предусмотрительно сохранили и старые паспорта. Так, на всякий случай — мало ли что...

Эпилог

Миры и антимиры всегда вместе и дополняют друг друга. И между ними нет резких границ. Ученые пока что открыли 140 необычных минералов и еще больше синтезировали. И хотя вместе их всего полтысячи, число их растет. Вон сколько вулканов по Земле разбросано. И всем почему-то не спится — то один проснется, то другой. А еще, по слухам, дополнительный кислород со свитой из металлов и в жидкостях проживает. И кто знает, чего со временем будет больше — классических минералов или антимиралинов... ■

В поисках овцебыка

В.А.Сарана,

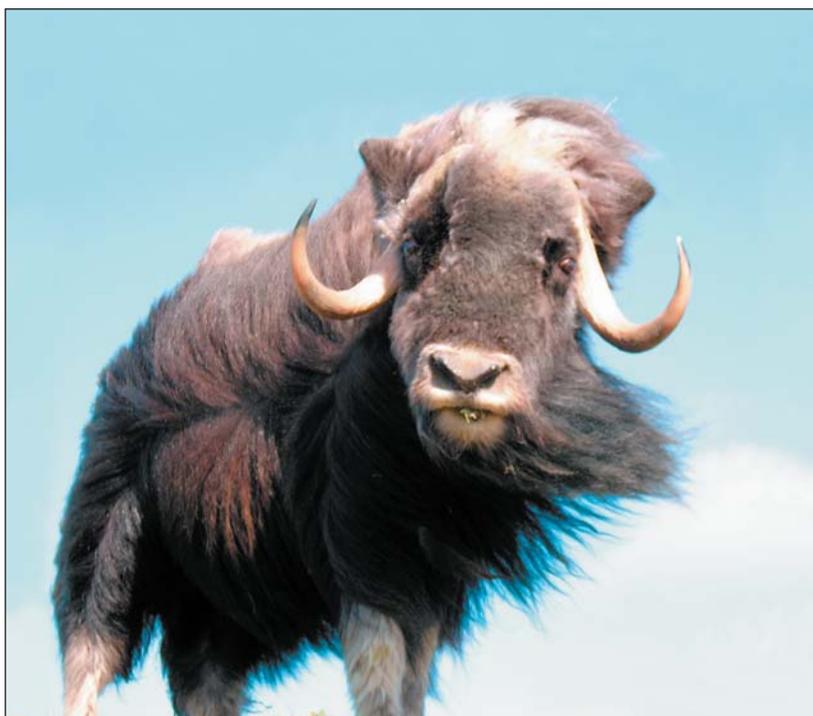
кандидат географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Об одном своем путешествии на Таймыр в апреле 2007 г. я уже рассказывал в «Природе» [1]. Тогда речь шла о самых северных горных ледниках полуострова. Сегодня героем повествования станет овцебык, вернее, наши его поиски на Таймыре, а также другие обитатели тундры.

На протяжении семи лет Таймырское отделение Российского геологического общества совместно с Московским центром Русского географического общества занимается организацией и проведением экспедиций на полуострове. Одна из наших задач — создание научно-популярных фильмов о природе этого края. В 2005 г. мы начали снимать фильм «Возвращение овцебыка».

Около 3—4 тыс. лет назад по бескрайним просторам Таймыра бродили стада этих могучих животных. Холод для них был не помехой, и они успешно пережили суровые времена последнего ледникового периода. Но случилось так, что они полностью исчезли и северные земли осиротели. Неизвестно, сколько еще им было оставаться пустыни, если бы не эксперимент ученых, во время которого в 1970-х годах на Таймыре были выпущены овцебыки из Канады и Аляски. 10 годовалых животных — подарок правительства Канады — были перевезены в долину р.Бикада в 1974 г. (с этого времени ведется отсчет начала реакклиматизации овцебыка в России). На следующий год были переселены еще 40 годовалых особей (20 — на Таймыр и 20 — на о.Врангеля) с о.Нунивак (штат Аляска).



Овцебык в угрожающей позе.

Здесь и далее фото Р.Вястрика и В.Б.Кирпиченко

Начиная с первого года жизни новоселов на Таймыре с помощью группы специалистов из Научно-исследовательского института сельского хозяйства крайнего Севера, которыми руководил Г.Д.Якушкин, за ходом эксперимента наблюдал журналист В.Кравец. Обо всем этом он рассказал в своей книге об овцебыках на Таймыре [2].

Никто тогда не мог знать, смогут ли 30 новоселов приспособиться к новым условиям и вдохнуть в студеные земли Евразии давно утраченную жизнь. По рассказам очевидцев, сегодня стада овцебыков уже освоили просторы равнинной и горной части Восточного Таймыра. Животные основа-

тельно заселили окрестности оз.Таймыр (особенно его северное побережье) и ушли от него далеко на запад. Овцебыки сегодня разгуливают по самым северным частям полуострова, в зоне арктических пустынь, иногда заходя на мыс Челюскин. И что самое невероятное, одиночных животных видели возле пос.Волочанка и на берегу Енисея. Значит ли это, что за 30 лет жизни на Таймыре овцебыки полностью покорили полуостров? Где сейчас лежат излюбленные районы их обитания? Это нам предстояло выяснить в первую очередь, чтобы определить места, где и будут проводиться основные съемки фильма.



Вертолет, на котором мы прилетели в верховья р.Таймыры.

Начало пути

План исследований территории возник, как только мы взглянули на карту полуострова. Таймыр делится на две части крупной водной артерией, состоящей из рек Верхняя и Нижняя Таймыра. Эти реки и станут нашими проводниками. Сплаваясь, мы сможем исследовать различные уголки тундры и наверняка должны встретить овцебыков. Нам предстояло проплыть более 500 км и пересечь полуостров с юга на север до самого Ледовитого океана. Подобное плавание 150 лет назад совершил естествоиспытатель академик А.Ф.Миддендорф. Никого из современников, кто бы прошел полностью этим маршрутом, мы так и не нашли. Полагаться можно было только на наш собственный опыт и знания.

Территория, по которой нам предстояло сплавиться, даже сегодня остается безлюдной и

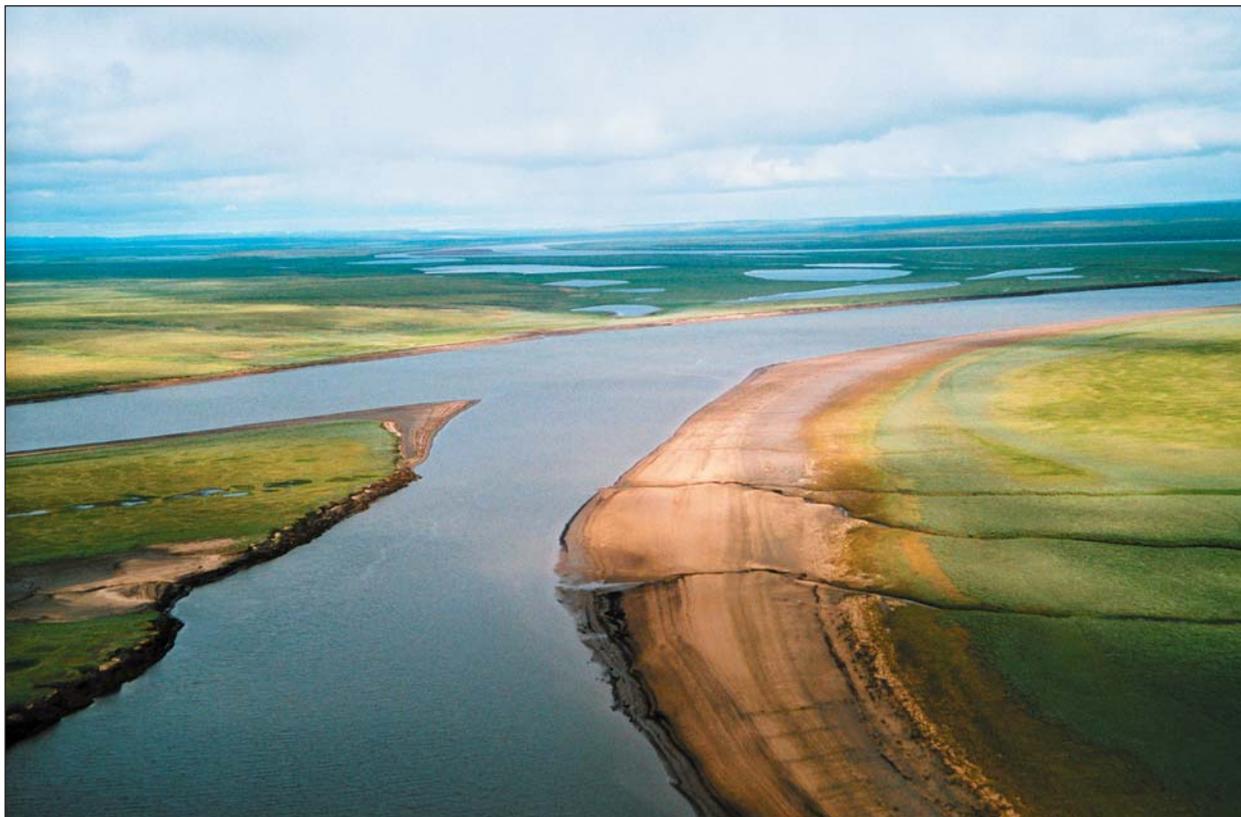
труднодоступной, но при этом тундра далеко не пустынна. Особенно в летнее время здесь бурлит жизнь.

Наш путь начинался из Норильска, из гидропорта «Валек». Сегодня с усилением мер по борьбе с терроризмом даже и здесь введены усиленные меры безопасности при регистрации пассажиров. Вещей у нас было 800 кг (к счастью, груз не стали тщательно досматривать). Все-таки нас немного знают в аэропорту и делают поблажку. Загрузившись в вертолет, ждем экипаж, волнуемся — полет могут отменить из-за того, что «на трассе нет погоды». Поэтому появление на аэродроме сразу трех летчиков давало надежду на благополучный вылет. Но самый главный признак — «ключ на старт», командир экипажа, проходя мимо вертолета, стучит ногой по колесу. Такая уж традиция у нашего друга Володи Пудкова. Он часто выручал нас, ког-

да мы где-то в тундре «зависали» по погоде.

Через 10 мин шум винтов достигает полной силы, и мы отрываемся от земли. Лететь до верховий р.Таймыры нам предстояло с дозаправкой в пос.Волочанка, а до нее почти два часа. Едва вертолет коснулся земли, как к нему тут же сбегались местные жители и ребятишки. Прилет вертолета в такую глушь — значимое и достаточно редкое событие. Вместе с детьми к вертолету подошла солидная женщина, как оказалось потом глава поселения, и настойчиво спросила, заглянув в салон, не привезли ли мы водки. Таким образом она борется в поселке с пьянством, отсекая «контрабанду» зелья еще на подлете.

Волочанка — очень старое поселение. Она получила свое название от слова «волок». Здесь во времена Мангазеи проходил путь, соединявший Дудинку с Хатангой. Суда поднимались



Место начала нашего путешествия. Слияние рек Верхняя Таймыра и Логата.

вверх по р.Дудыпте, а вблизи нынешнего поселка их перетаскивали волоком в р.Хету. Здесь и сегодня еще можно встретить полуистлевшие деревянные катки и следы древнего волока. В Волочанке живут нганасане и долгане. Они уже давно утратили навыки оленеводов и поэтому живут прозябая. Жизнь в поселке проходит монотонно, работы нет, заняться населению нечем. Никаких тебе театров, кино, баров и дискотек, одна забава — смотри телевизор, если не сломана спутниковая антенна или поселковый дизель-генератор. Чтобы выбраться за пределы поселка, нужны большие деньги. Билет до Норильска вертолетом стоит около 5 тыс. руб., а где такие деньги взять местному населению?

Стоянка всего лишь 20 мин, и мы снова в воздухе. Под нами промелькнула Волочанка с домиками, расположенными в два ряда, и маленькие силуэты лю-

дей. Жалко местных ребятишек. Что их ждет впереди? Уж точно к ним никто из представителей нынешних партий или правозащитников из Общественной палаты не прилетит, чтобы как-то помочь или просто взглянуть, как тут живет их электорат. Но маленькая надежда все-таки остается, быть может, во время очередного прямого эфира с президентом кому-то из них удастся «достучаться до небес» и поведать о своих проблемах.

Под нами уже настоящая тундра. Деревья и кустарник исчезли, только зеленая гладь, разорванная большим количеством озер. В озерах, словно в больших зеркалах, отражались белые облака и небесная синь. Пролетев более часа, вертолет стал снижаться. Под нами простиралась Верхняя Таймыра. Мы приземлились в месте впадения ее правого притока — р.Логаты. Как только остановились двигатели вертолета, для знакомства



Юный житель Волочанки.



Лебеди кормятся на мелководье реки.

с нами тут же прибыли аборигены здешних мест — комары. Они пытались напиться нашей крови и гибли десятками при каждом хлопке ладони. Погода была теплой и безветренной, самое их время.

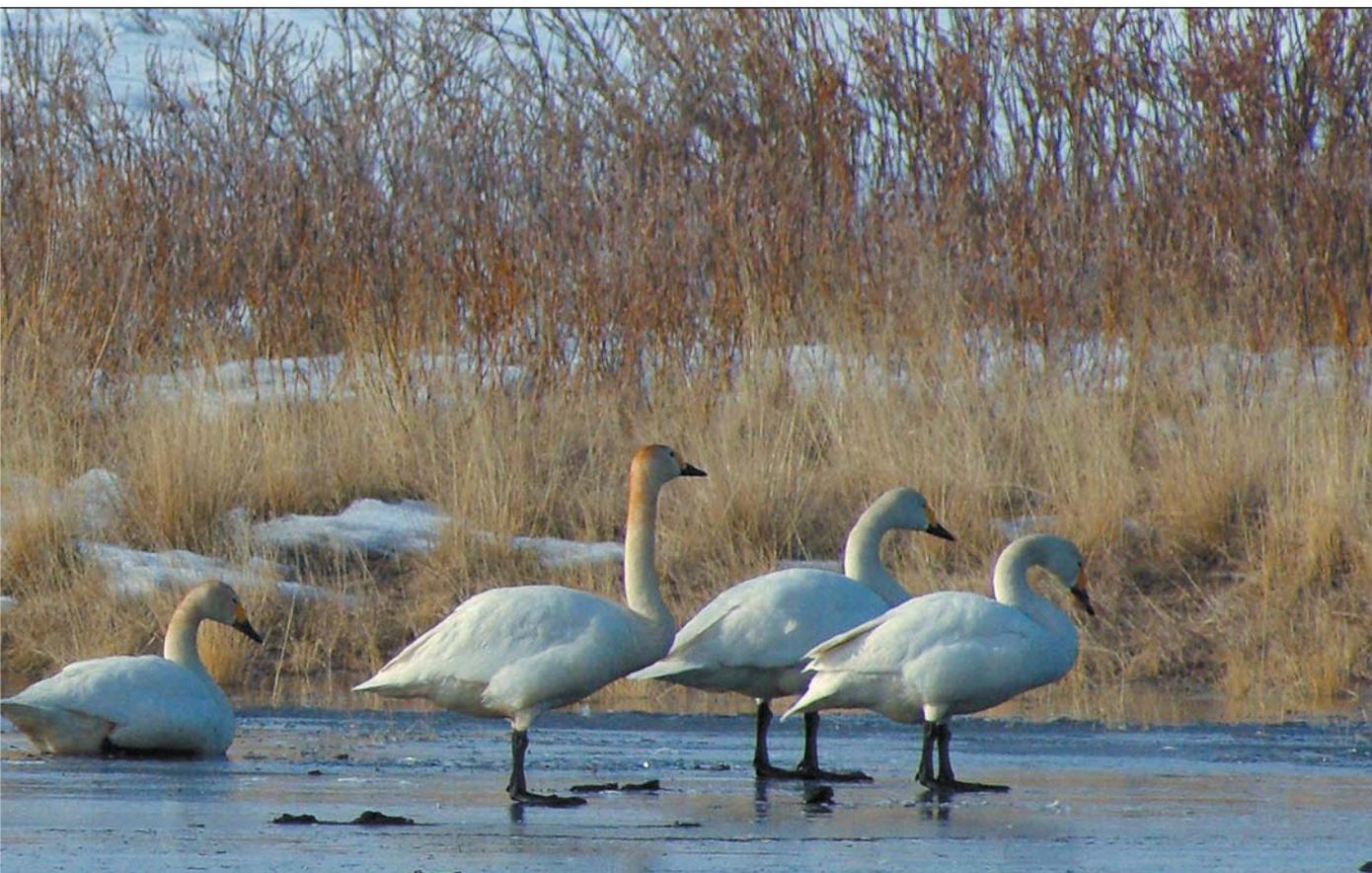
Речные богатства

Разгрузившись и простившись со своими спутниками, перед тем как заняться обустройством быта, первое, что мы решаем сделать — наловить рыбы. Уж очень нам хотелось после городской пищи отведать «свежатинки». Надули лодку, достали 20-метровую сеточку и, долго не думая, поставили ее прямо с берега поперек реки. Дальше был перекус и хозяйственные работы по обустройству. По привычке сеть решили проверять вечером, когда закончили все дела.

Это была наша первая ошибка и первое открытие на Таймыре. Как только я начал вынимать сеть, сразу заметил, что в глубине трепещется что-то крупное. Вынимая из воды первые метры сети, мы ликовали. Сеть была забита рыбой и перепутана так, что больше в нее попасться никто не мог. Кого только в ней не было: чир, сиг, муксун и омуль, вес самой маленькой рыбы приближался к килограмму. А потом, к середине сети, восторгу нашему пришел конец. Рыбы уже было предостаточно. Пришлось ее выпутывать и отпускать назад в реку. К концу сети из воды показалась голова настоящего чудища. Это был гигантский налим. Он заглотил крупного чира вместе с сетью и ни в какую расставаться со своей добычей не собирался. Брать налима мы не хотели, и нам пришлось с ним побо-

роться, выдирая из пасти добычу. После этой рыбалки мы больше никогда надолго не оставляли сеть в реке. Если нам была необходима рыба, мы ставили сеть и тут же ее собирали. Рыбы хватало на несколько дней. Реки Таймыра просто кишат рыбой.

На следующий день мы собрали наш рафт, погрузили весь свой скарб и отправились в неизведанные дали. Река в этом месте была довольно широка. Течение слабое, и поэтому мы плыли на моторе. Через некоторое время комары отстали от нас, и мы спокойно любовались бескрайними просторами тундры. Везде кипела жизнь. Тундра была наводнена мелкими птицами, чайками, куликами, утками и гусями. У некоторых из них уже появилось потомство. Но вот овцебыков нигде не было. Нас это не печалило, ведь мы



еще только в начале своего путешествия.

Завидев семью плывущих по реке гусей со своим потомством, направили лодку к ним. Нам хотелось снять крупные планы малышей. Гуси, заподозрив неладное, вышли на берег и решили спрятаться в траве. Родители стали изображать из себя инвалидов, прихрамывая, не спеша уходили в тундру, пытаясь привлечь к себе внимание и увести нас от спрятавшихся в траве малышей. Но мы эти хитрости гусей уже знали и не обратили на них никакого внимания. Разыскать в траве малышей было достаточно трудно — их цвет сливался с общим фоном поверхности. К тому же они мастерски забились в щели и сидели там не шевелясь. Но все-таки одного птенца мы смогли отыскать и поймать. Когда взяли его в руки, гусенок поднял крик.



Поморник осваивает видеотехнику.



Река Нижняя Таймыра в среднем течении.

Глава семейства тут же подлетел к нам и кинулся в атаку. Он бегал вокруг нас, вытянув шею вперед, и с яростным шипением кидался на похитителей его маленького чада. Когда мы птенца отпустили, отважный отец успокоился и гордо направился с малышом к реке, где их ждала беспокойная мамаша.

На реке было в изобилии линных гусей-первогодок, еще не поменявших полностью детское оперение и поэтому только плавающих. Завидев крупную стаю, мы направились к ней. Гуси спешно выбрались на берег и кинулись наутек в тундру. Ну что нам, крепким мужикам, стоит догнать гуся. Погоня началась незамедлительно. Если бы кто-нибудь наблюдал издали за нами, никогда не угадал бы, чем мы заняты. Гуси так шустро бегали по тундре, что поймать их могла только собака. Вернувшись ни с чем, мы поплыли дальше.

Стена из оленей

На шестой день нашего плавания мы стали свидетелями удивительного явления в мире дикой природы. До этого дня мы каждый день встречали небольшие группы северных оленей. Но то, что мы увидели утром, повергло нас в настоящий шок. В этот день мы решили устроить дневку и побродить по тундре. Утро было хмурым и безветренным. Комары просто озверели, даже поесть на улице нам не дали. Манная каша превращалась в темное месиво за несколько секунд, поэтому мы стали завтракать в палатке. Куда-либо идти в такую погоду нам не хотелось, и мы решаем подождать дневного ветра. Разглядывая тундру в бинокль, мы не сразу поняли, что происходит на горизонте. Было похоже на мираж, движение воздуха. Но на самом деле в нашу сторону двигалась стена оленей. Их бы-

ло так много, что казалось, будто дальние холмы ожили и пришли в движение. Но все это происходило с другой стороны реки. Наш берег был пустынен. Стена оленей поравнялась с нами, и мы уже хотели переплыть реку на лодке, чтобы на противоположном берегу сделать съемки. И вдруг наш холм, в основании которого стоял лагерь, начал оживать. Олени появились на его вершине, их количество росло с невероятной быстротой. Живая река мгновенно заполняла пустовавший мир. Настал тот момент, когда олени поравнялись с нашими палатками. Некоторые из них ногами задевали растяжки. Находясь среди стада, мы боялись быть сметенными, но этого не произошло. Не обращая на нас внимания, олени огибали наш лагерь и следовали дальше. Животных было тысячи. Они заполняли все видимое пространство. Олени двигались бегом,



Миграция северных оленей.
Олени переплывают р.Таймыра.

громко фыркая, истерично мотая головой и трясая загривками. Оказывается, их тоже донимали комары. Особенно доставалось рогам. Рога оленей были еще мягкими и покрыты шерстью — их называют еще пантами. Вдруг олени с противоположного берега начали переплывать на наш берег. В этом месте река имела ширину около 300 м, и оленей это не пугало, они плыли нескончаемым потоком, образуя живой мост. Скопление оленей мы наблюдали в течение пяти часов. Они появились внезапно и с такой же быстротой растворились в тундре. Только один из малышей не смог сам выбраться из воды на крутой берег и отстал от стада. Мы спасли его, и он еще долго бегал вокруг наших палаток, надеясь отыскать свою мать.

По некоторым оценкам, на Таймыр летом приходит от 700 тыс. до 1 млн диких северных оленей. Презимовав в ле-



сах Эвенкии и Якутии, олени каждую весну отправляются на север через плато Путорана и Анабар. Они спешат добраться до таймырской тундры, где будут выпасаться до конца лета. Здесь для оленей настоящий рай: вдоволь кормов, нет гнуса и самой страшной напасти для них — оводов. В сентябре олени возвращаются назад на зимовку

в северные отроги сибирских лесов, где нет свирепых ветров и твердого, как сталь, снежного наста. Зимой в тундре выжить оленям очень трудно. За время миграции они проходят более 3 тыс. км, таким образом решая для себя проблему пропитания. Оседлая жизнь оленей приведет к перевыпасу территории и гибели популяции. Помимо кор-



Растаявшая мерзлота образовала «останцы» на берегу р.Таймыры.

мовых проблем, продолжительная миграция способствует перемешиванию популяции и сохранению здоровья вида.

На озере Таймыр

Доплыв до того места, где Верхняя Таймыра впадает в оз.Таймыр, мы попали в лабиринт мелких протоков, островов и мелей. Вот где настоящий рай для пернатых! Здесь повсюду были громадные стаи линных гусей. На небольших островах гнездились чайки, они уже растили свое потомство. Стоило нам приблизиться к такому острову, как тут же на нас обрушился град помета. Чайки бомбили нас с невероятной силой, пытались всеми силами не допустить на остров. Но все-таки мы рискнули и высадились. Остров был покрыт растениями с желтыми цветами. Среди зарослей травы повсюду расположены

примитивные гнезда, большинство из них были пусты, только в некоторых еще лежали яйца. Приглядевшись, в траве мы заметили довольно крупных птенцов. Они прижались к земле и затаились. Как только мы нагибались, чтобы взять их в руки, как они тут же вскакивали и бросались наутек к реке. Атаки с воздуха не прекращались, и мы решили не задерживаться на острове. Хотя чайки не были умелыми снайперами, но нам все-таки досталось. В дальнейшем мы стороной обходили острова с желтыми цветами.

Озеро Таймыр встретило нас хорошей погодой, что позволило быстро добраться до мыса Саблера. Здесь расположена база, где направляются вертолеты по пути на мыс Челюскин. Когда мы приблизились, над домом появился дым. А это значит, что нас заметили и ждут. Наше появление у хозяев вызвало удивление, в таких местах люди редкие

гости, тем более если пришли своим ходом. Обычно сюда прилетают вертолетом.

Мы не стали ночевать на базе. Пообедав шурпою из оленины и выяснив у хозяев безопасный маршрут по озеру, мы тронулись в путь. Стояла хорошая и безветренная погода, и нам надо было торопиться переплыть озеро. Спокойным озером бывает редко.

Проплыв около 250 км по Верхней Таймыре, мы так и не повстречали овцебыков. Где же они? Хозяева базы нас тоже не обнадежили, они видели только одного быка и то весной. По их рассказам, быки обычно держатся противоположной стороны озера, где к берегу подходят горы и меньше заболоченность.

Озеро Таймыр считается самым большим озером Сибири после Байкала. Его площадь 4560 км², а максимальная глубина достигает отметки 26 м.



Горы Бырранга в районе оз.Таймыр.

Большая часть озера мелководна. На нем есть много мест, где лодка может сесть на мель, и не дай бог, если это случится во время шторма. Дно озера покрыто илом, на который наступить невозможно, поскольку жижа сразу засосет ногу. Если волной выбросит лодку на такую отмель, оттуда не вырваться. Поэтому на всякий случай мы с собою возили четырехметровую доску. К тому же, используя ее, можно было легко выходить на берег, не проваливаясь в грязь.

На следующий день мы проснулись от порывов ветра и шума прибоя. На озере начался шторм. Такая погода здесь может длиться целую неделю. И нам ничего не оставалось, как повременить с дальнейшим плаванием и отправиться исследовать горы. В горах растительность стала совсем скудной и чахлой, повсюду в ложках лежали снежники, и было про-

хладно. Нам встречались только довольно упитанные зайцы. Кое-где на днищах долин паслись небольшие группы оленей. А вот овцебыков нигде не было видно. Наши надежды повстречать их таяли с каждым днем.

Впереди у нас была Нижняя Таймыра.

Через два дня шторм на озере прекратился, и мы смогли продолжить наше путешествие. Войдя в верховья реки, где она вытекает из озера, мы сразу



Моршקה — осенний подарок тундры.



Заяц.



Пищуха на камне.

ощутили силу течения. Изменился ландшафт. Берега стали каменистыми, исчезла грязь. Мы могли причалить в любом месте, не опасаясь провалиться. Уже близился вечер и мы стали присматривать место для ночлега, как вдруг на склоне мы заметили пасущегося овцебыка. Он был один и спокойно поглощал траву, не обращая внимания на плывущую по реке лодку. Мы заранее заглушили мотор и продолжали плыть на веслах. Причалив, мы решаем подойти к быку. Овцебык нас сразу заметил. Он насторожился, поднялся на пригорок и стал чесаться головой о переднюю ногу. Так продолжалось несколько минут, пока мы стояли замерев. Но стоило начать двигаться, как он перешел к следующему устрашающему приему. Опустив голову к земле, бык стал рогами бодать землю, отрывая куски дерна. На нас и это не возымело действия, мы подходили все ближе. И тогда он не выдержал и ретировался, довольно быстро взобрался на вершину холма, оглянулся на нас и медленно ушел за перегиб. Так произошла наша первая встреча с овцебыком.

Чем дальше мы забирались на север, тем сильнее чувствовалось его дыхание. Температура не поднималась выше 6—8°C,

солнце показывалось редко и дул сильный ветер. 2 августа погода совсем испортилась, и пошел снег. Переживая непогоду в палатках, мы на противоположном берегу реки заметили овцебыка. Он был один и шел быстрым шагом вдоль реки, не останавливаясь.

На берегу реки мы часто находили помет овцебыков. По его количеству можно было предположить, что они здесь бывают часто. Но может, не в этом, а в прошлом или позапрошлом году? Доплыв до низовий Нижней Таймыры, мы так и не встретили больше овцебыков. У нас оставалось еще время, и мы решили исследовать крупный приток Таймыры — р.Шренк.

Поднимаясь вверх по притоку, еще издалека заметили столб дыма. Судя по его количеству, горело что-то очень крупное. Мы точно знали, что в этом районе никого из людей нет. Подплывая ближе к таинственному дыму, мы обратили внимание на черный цвет камней, разбросанных по берегам реки. Это был уголь. Здесь его залежи выходят на поверхность земли, где и происходит самовозгорание. Уголь горит круглый год, пока не выгорит весь пласт. Ни дождь, ни снег не в состоянии погасить пламя внутри земли. Ходить по

таким местам опасно, можно провалиться в пустоту и сгореть. Сквозь трещины в земле был виден огонь, уголь горел, словно в горне. Над тем местом, где горел огонь, и выходил плотный дым. Вокруг немного пахло серой. Здесь, на пепелище, мы встретили третьего овцебыка, он, по-видимому, задохнулся дымом и лежал, не тронутый зверями и птицами. Животные чувствуют опасное место и не подойдут, и что здесь привлекло быка, для нас осталось загадкой.

Поднявшись вверх по р.Шренк на 70 км, мы и здесь не встретили овцебыков. Нам не повезло, но мы не отчаивались. Главное, овцебыки на Таймыре есть, и они постепенно осваивают новые территории. Но их пока еще не так много. По некоторым оценкам, сегодня на Таймыре проживает около 4—5 тыс. овцебыков. Если это количество равномерно распределит по территории полуострова, тогда становится понятным, почему встречи с ними еще редки. Нам пора улетать. Мы были счастливы побывать в этих чудных местах и встретиться с обитателями тундры. В следующем году мы уже отправимся в район р.Бикада, где 35 лет назад были выпущены первые овцебыки, и там нас наверняка ждет удача. ■

Литература

1. Сарана В.А. Ледники туманных гор // Природа. 2008. №6. С.43—53.
2. Кравец В. Овцебыки возвращаются на Таймыр. М., 2003.

Уникальное древнекаменное орудие из Северной Армении

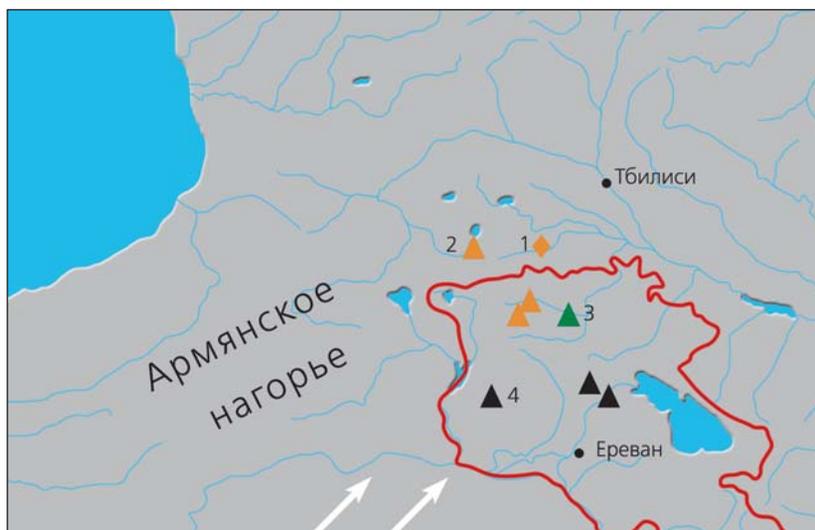
Е.В.Беляева,

кандидат исторических наук

Институт истории материальной культуры РАН
Санкт-Петербург

В археологии, подобно большинству других наук, принято, как правило, выдвигать гипотезы и делать выводы на основе изучения массового и достаточно представительного материала. Тем не менее встречаются порой единичные находки, информативный потенциал которых выше, нежели у десятков или даже сотен других артефактов. Именно такое уникальное каменное изделие было найдено в 2008 г. в плейстоценовых отложениях около сел. Куртан на севере Армении. Это орудие раннего древнекаменного века, определяемое как ручное рубило, является не только настоящим шедевром древних мастеров, но имеет к тому же особое научное значение. Чтобы оценить важность этой находки для изучения начальных этапов палеолита Кавказа, необходимо хотя бы вкратце осветить место и роль данного региона в ранней преистории Евразии.

Вся совокупность добытых на сегодня антропологических и археологических свидетельств не оставляет сомнений в том, что прародиной как современного человечества, так и большинства его предковых форм был Африканский континент. Наши предшественники не были домоседами и уже с самого начала четвертичного периода, около 1.8 млн лет назад, приступили к освоению просторств Евразии. Именно таков возраст древнейшей в Евразии

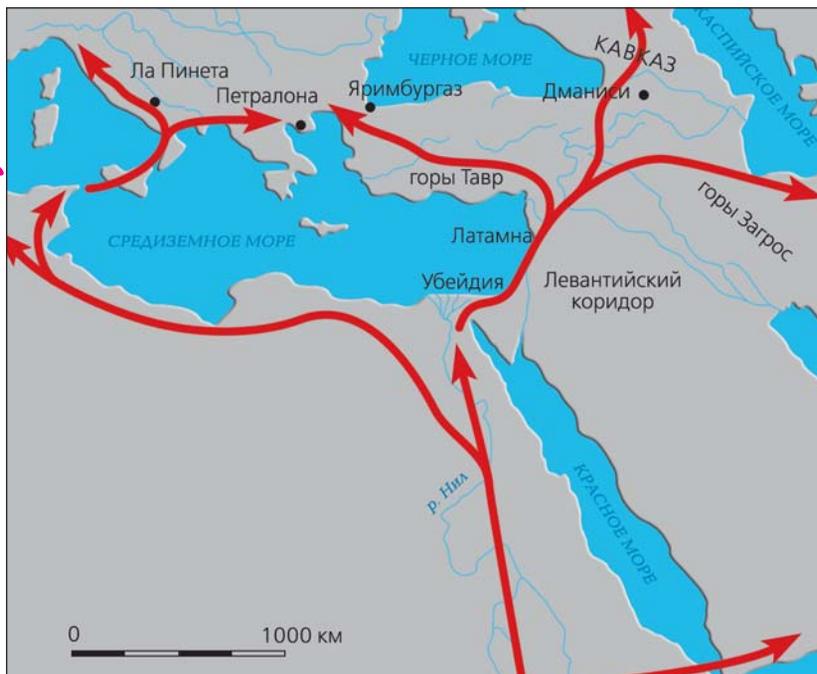


Упомянутые раннепалеолитические памятники на территории Кавказа. Условные обозначения: 1 — Дманиси; 2 — местонахождения и стоянки Ахалкалакско-Джавахетского нагорья (дацитовая зона); 3 — Куртан; 4 — местонахождения Сатани-дар и Разданская группа (обсидиановая зона); красной линией обозначены примерные границы Армении, стрелками показано общее направление расселения ранних людей с Ближнего Востока.

стоянки ранних людей (*Homo ergaster*), которая находится на северной оконечности Армянского вулканического нагорья, неподалеку от городка Дманиси в Южной Грузии. Таким образом, юг Кавказского перешейка практически изначально вошел в состав евразийской палеолитической ойкумены. Очевидно, что ранние люди могли попасть туда только через территорию Ближнего Востока.

Подобное направление их миграций объяснимо палеоэкологическими факторами. Развитие ранних гоминид и формирование их каменных индустрий происходило, как просле-

жено, в полосе Великого Африканского рифта. Благодаря этим разломам и поднятиям, отделившим восточную часть Африки от зоны тропических лесов, там образовались саванновые ландшафты с богатым животным миром, а вулканизм обеспечил обилие лавовых и метаморфизованных пород, подходящих для изготовления каменных орудий. Продолжением этой зоны является Сирийско-Аравийская рифтовая система со сходными палеоэкологическими условиями, что способствовало миграциям раннеплейстоценовой фауны и ранних гоминид на север через так называемый Ле-



Распространение ранних гоминид из Восточной Африки и возможные пути колонизации ими юго-запада Евразии (по: Бар-Иосиф, 1997).

вантийский коридор. Еще севернее расположен Анатолийско-Кавказский сегмент рифтовой зоны, выраженный на Кавказском перешейке как транскавказское поперечное поднятие, тянущееся от Армянского вулканического нагорья до Ставропольской возвышенности. Судя по Дманисской стоянке, где гоминиды, изготовлявшие галечные орудия, обитали в саванноподобном ландшафте, раннеплейстоценовые экосистемы Армянского нагорья также были вполне благоприятны для пришельцев с юга.

Позднее новые миграции с Ближнего Востока привели на Армянское нагорье людей, овладевших техникой изготовления более совершенных каменных изделий, включая двусторонне обработанные ручные рубила (ашельские индустрии). С началом плейстоцена началось глобальное ухудшение климата с периодическими оледенениями, что на Кавказе сочеталось со вздыманием гор и активным вулканизмом. Тем не менее в межледниковые периоды раннего

и среднего плейстоцена эта область еще была, видимо, вполне комфортной для проживания ранних людей, тем более что благодаря извержениям здесь появились огромные запасы высококачественного вулканического сырья (обсидиан, дацит и др.). Большая часть Армянского нагорья, в особенности лежащая в пределах Турции, почти не изучена исследователями палеолита, что затрудняет суждения о характере заселения нагорья ашельскими людьми. В то же время о масштабах их присутствия говорят многие сотни ручных рубил, обнаруженных в ряде областей современной Армении и Южной Грузии, причем большинство находок происходит из трех наиболее тщательно обследованных районов. В двух из них, расположенных южнее (холм Сатани-дар у горы Артени на юго-западном склоне вулкана Арагац и окраина Гегамского нагорья на левобережье р.Раздан), найденные ашельские изделия, включая рубила, изготавливались из обсидиана, а на самой северной оконечности Армян-

ского нагорья (Ахалкалакско-Джавахетское нагорье) использовались разновидности дацита и андезита.

В обсидиановой зоне все ашельские изделия были найдены на эродированных поверхностях террас или горных склонов, в руслах ручьев или оврагов, т.е. вне их изначального геологического местонахождения. Сопоставление с индустриями стратифицированных и датированных ашельских памятников других регионов, и прежде всего Ближнего Востока, позволяет относить эти армянские находки к поздней стадии ашеля (примерно 500—200 тыс. лет назад). Об ашельских находках, происходящих с юга Грузии, пока почти нет публикаций, но, насколько нам известно, они имеют сходный характер. Внести новую значительную лепту в изучение ашеля Армянского нагорья удалось лишь недавно — благодаря полевым работам, начатым на севере Армении совместной Армяно-Российской экспедицией, возглавляемой С.А.Аслаяном (в ее составе работали В.П.Любин, Е.В.Беляева, Е.М.Колпаков, Г.М.Саркисян и др.)*.

В восточных предгорьях вулканического Джавахетского хребта и на территории примыкающего к нему Лорийского плато было открыто свыше 20 пунктов с многочисленными ашельскими находками из дацита, включая более 300 ручных рубил. Наряду с типичными позднеашельскими изделиями (тщательно обработанные плоские рубила, сколы в виде пластин и т.п.) были впервые найдены не встречавшиеся ранее массивные грубо оббитые рубила, пиковидные орудия и некоторые другие изделия, характерные для более древних индустрий Ближнего Востока (средний ашель?). Были открыты также первые стратифицированные ашельские памятники, где изделия залежали в плей-

* См. также: Колтаков Е.М., Субетто Д.А. Следы древнейших людей в Армении // Природа. 2008. №1. С.89.

стоценовых слоях, отражающих период обитания создателей этих каменных индустрий. На стоянке Даштадем-3 Колпаков исследовал слой, содержащий позднеашельский инвентарь, в том числе около полусотни рубил; Любин и Беляева приступили к раскопкам двух многослойных памятников. В Мурадово нами выявлена последовательность местных каменных индустрий: под слоями с поздним ашелем залегали изделия среднеашельского облика, а на нижних уровнях — более архаичная индустрия, которую еще предстоит атрибутировать. Раскопки плейстоценовой толщи в карьере Куртан только начаты, но именно здесь было найдено ручное рубило, ставшее сенсацией сезона 2008 г.

Исключительность этой находки не умаляет ценность других результатов работ в Лори. Новые обильные материалы позволили установить разновозрастность и последовательность ашельских индустрий на юге Кавказа. Детальный анализ найденных здесь рубил продемонстрировал как определенную локальную специфику, связанную с сырьем, так и преобладание морфологических черт, которые характерны для большинства рубил всего Кавказа.

Доминируют орудия субсердцевидных и овальных очертаний, не слишком удлинённые (длина/ширина < 2), часто с плавным приострением или даже закруглением рабочего конца. Такие формы, техника их обработки и характер эволюции изученных рубил позволили предположить, что ашельские индустрии севера Армянского нагорья, а также, не исключено, большей части всего Кавказа могут иметь корни в одной из фаций ближневосточного ашеля, а именно среди индустрий среднего ашеля приморской полосы Сирии. Эти наблюдения и выводы существенно развивают и дополняют, не меняя в целом, те заключения о характере ашеля

Кавказа, что уже высказывались ранее Любиным.

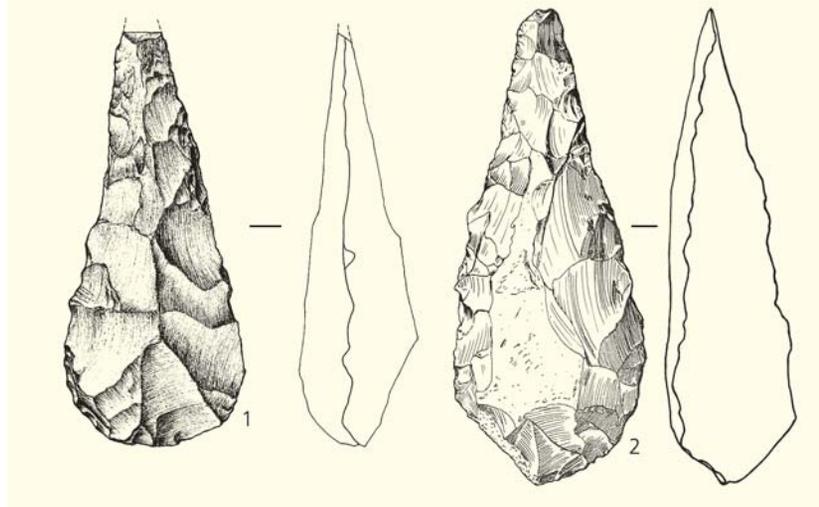
Ручное рубило из Куртана поражает именно тем, что выбивается из общего фона и предвещает, видимо, некоторую коррекцию прежних представлений. Данное орудие сделано из неместного андезита (?) и отличается весьма крупными размерами: даже при обломанном в древности остром конце длина его достигает 24 см. Орудие относится к разряду массивных рубил (ширина/толщина = 1,6), что обычно указывает на относительную древность. Оббивка обеих сторон весьма интенсивна, базальтика конец приострен, но техника обработки более примитивна, нежели у большинства позднеашельских рубил. Самое же замечательное в этом рубиле — его форма в плане: закругленная базальная треть и очень длинное, как у кирки, массивное острие, словно бы «оттянутое» от основной части корпуса.

Рубило подобной формы уникально для ашеля Кавказа, но зато имеет сходство с копьевидными рубилами стоянки Латамна в Сирии, которая располагается в зоне Сирийско-Аравийского рифта. Стоянка Латамна, раскопанная Дж.Д. Кларком, относится к среднему ашелю и датируется



Рубило из Куртана, слой 3 (андезит?). Орудие удлинённое (длина/ширина = 2,3), с максимальной шириной 10,4 см в нижней его четверти.

ся началом среднего плейстоцена. На более поздних стоянках Ближнего Востока такие рубила не встречаются, зато их более грубые прототипы известны в ряде других памятников Ближ-



Среднеашельские копьевидные рубила: 1 — Куртан (Северная Армения), 2 — Латамна (Сирия).



Е.В.Беляева с уникальным ручным рубилом из Куртана.

него Востока (Убейдия, Джуб-Джаннин) и Северной Африки (Тернифин). Похожие формы рубил встречаются и в Западной Европе, куда «мода» на них могла проникнуть также с юга, из Северной Африки. Великолепный образец подобного рубила длиной около 40 см, имевший, возможно, не только и не столько

утилитарное назначение, найден недавно в среднелепесточных слоях пещеры Кон-дель-Араго на юге Франции*

Итак, описываемое нами копьевидное рубило свидетельствует о том, что на территорию

* Любин В.П., Беляева Е.В. Возникновение чувства гармонии у гоминид // Природа. 2008. №11. С.72–75.

Работа выполнена при поддержке РГНФ (грант № 07-01-00089а).

Армянского нагорья, включая его северные области в границах Кавказа, в среднем ашеле стали проникать носители не одной, как думали ранее, а разных традиций. Конечно, судя по уникальности этого изделия, наследники древней латаминско-убейдинской традиции были, видимо, нечастыми гостями на Кавказе, где господствовали пришельцы с индустриями иного облика. Можно ожидать, однако, что продолжение работ в Армении принесет другие красноречивые находки, которые прольют новый свет на происхождение и эволюцию ашельских индустрий Кавказа, а также на общую картину заселения региона на ранних этапах преистории.

В заключение еще раз коснемся наиболее бросающейся в глаза особенности данного рубила. Его чрезвычайно крупные размеры, симметричность и исключительная тщательность отделки выглядят избыточными с точки зрения использования в качестве рубяще-режущего орудия. Подобно упомянутому рубилу из Франции, а также многим другим совершенным в своем роде образцам рубил, оно едва ли было обычным инструментом, но, скорее всего, воплощало некие эстетические и символические представления. Какую социальную или даже сакральную нагрузку могли придавать таким изделиям люди, жившие более полумиллиона лет назад, остается лишь гадать. Однако эти артефакты, включая описанное нами рубило, ясно показывают, сколь глубоки на самом деле корни тех неоднозначных отношений с миром вещей, которые часто приписывают лишь культуре человека современного типа. ■

Новости науки

Организация науки

Лауреаты премии «Триумф» 2008 года в области науки

За выдающиеся достижения в экспериментальных и теоретических исследованиях, внесших значительный вклад в развитие отечественной и мировой науки, премия «Триумф» ежегодно присуждается российским ученым начиная с 2000 г. (до этого она вручалась только деятелям культуры и искусства)¹. Решение об учреждении такой премии в области науки было принято Попечительским советом Фонда «Триумф — Новый век» в 2000 г., и впервые награждения состоялись по итогам 2001 г. Перечень номинаций устанавливается ежегодно на первом организационном заседании жюри научной секции, которое формируется Президиумом РАН совместно с Фондом. В состав учредителей Фонда ныне входят: президент Международного инженерного университета академик Ю.А.Рыжов, президент Фонда социально-экономических и интеллектуальных программ С.А.Филатов, президент Независимого благотворительного фонда «Триумф — Новый век» И.В.Шабдурасулов.

По решению жюри в 2008 г. премии были присуждены по шести номинациям: физико-математические науки (академику А.М.Фридману); механика и технические науки (академику М.Н.Тищенко); химия и науки о материалах (академику А.Л.Бучаченко); науки о жизни, медицина (академику РАН и РАМН М.И.Давыдову); науки о Земле

¹ Например, о присуждении премии академику А.Ф.Андрееву см.: Лауреаты премии «Триумф» 2003 года // Природа. 2004. №3. С.78—79.

(академику А.П.Лисицыну); гуманитарные науки (академику Т.И.Ойзерману). Помимо денежных премий, эквивалентных 50 тыс. долл. США, награжденным вручаются памятная медаль, значок и диплом. Представим двух лауреатов премии «Триумф» 2008 г.

Академик Алексей Максимович Фридман — всемирно признанный специалист в области астрофизики. Его работами внесен существенный вклад в развитие линейной теории устойчивости классических фигур равновесия звездных систем, заложены основы нелинейной теории устойчивости и турбулентности гравитирующей среды. В его исследованиях бесстолкновительных ударных волн во вращающихся звездных дисках впервые было показано, что размер эпицикла в таких системах играет роль длины свободного пробега. Фридманом построены теории переноса, коллективных и резонансных процессов в кольцах планет-гигантов, предсказано существование серии малых спутников у планеты Уран. Им создана и развита гидродинамическая теория генерации спиральной структуры галактик, что позволило предсказать существование гигантских антициклонов в дисках спиральных галактик, а благодаря предложенному им методу восстановления трехмерного поля скоростей по доплеровским данным удалось обнаружить такие вихри в нескольких галактиках на шестиметровом телескопе САО (Специальной астрофизической обсерватории). Он предложил новые механизмы релаксации скоростей звезд в солнечной окрестности, приводящие к различным наблюдаемым темпам роста дисперсии скоростей с возрастом и позволяющие разрешить один из основных пара-

доксов звездной динамики. Эти и другие научные достижения Фридмана получили высокую оценку — он был удостоен Государственных премий СССР и РФ.

Академик Александр Петрович Лисицын — выдающийся российский ученый-океанолог. Его труды внесли огромный вклад в изучение процесса накопления осадков в океане, в проведение детального геологического картирования дна Мирового океана. Используя богатейшие материалы глубоководного бурения для исследования геологического прошлого океанов и морей, он заложил основы палеоокеанологии, сформулировал основные закономерности процесса океанской седиментации, создав признанное во всем мире учение о ее зональности; разработал теорию быстрой и сверхбыстрой седиментации и связанных с ней перерывов в осадконакоплении. Лисицын открыл существование в океане трех поясов накопления кремния, выявил важнейшие закономерности накопления карбонатов и гидротермальных сульфидных руд. С использованием глубоководных обитаемых аппаратов «Пайсис» и «Мир» руководил изучением гидротермальной активности на океанском дне (лично совершил 31 погружение). Благодаря этим исследованиям установлены огромные масштабы поступления в океаны глубинного вещества.

Лисицын — член Научного комитета по проблемам Мирового океана, Национального комитета российских геологов, Межведомственного литологического комитета. Александр Петрович много сил отдает научно-организационной и педагогической работе. Более 30 лет он руководит со-

зданной им Международной научной школой по морской геологии. Всемирно признанный ученый, он является национальным координатором проекта IGOFS (International Global Ocean Flux Studies) и международной программы «Глобальные потоки вещества в океане».

Многогранная научная и педагогическая деятельность Лисицына получила заслуженное признание: он лауреат двух Государственных премий СССР и международной премии им. Френсиса Шепарда; кроме того, он награжден орденами Отечественной войны I и II степени, «Знак почета», Трудового Красного Знамени, Дружбы народов, многими медалями. Он автор многих монографий и многочисленных научных статей. Его научно-популяризаторская деятельность нашла отражение и на страницах нашего журнала¹.

© Короткевич Г.В.
Москва

Астрономия

У галактик есть нижний предел массы

Сейчас считается, что формированием структуры Вселенной «управляет» невидимая темная материя, проявляющая себя только через гравитацию. Именно сгустки темного вещества — так называемые темные гало — послужили затравками для образования небольших первичных галактик, которые затем сливались друг с другом, превращаясь в гигантские звездные системы, подобные Млечному Пути. А те карлики, которым удалось избежать слияния, сохранились до наших дней в виде спутников больших галактик.

¹ См., напр.: Лисицын А.П., Шевченко В.П. Проект «Система Белого моря» — четырехмерное изучение морей (2008. №11. С.81); Лисицын А.П. Одиссея подводного флота России (2004. №2. С.87); Лисицын А.П., Сагалевиц А.М. Успехи исследований с аппаратами (1996. №7. С.26); Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Экспедиция в Карское море (1994. №10. С.32); Лисицын А.П. Рудообразование за дугами островов (1991. №7. С.38).

С Млечным Путем соседствует более 20 карликовых галактик. Они очень сильно отличаются друг от друга по яркости: их светимость составляет от 1000 до 10^7 светимостей Солнца. Казалось бы, логично ожидать сопоставимого разброса и в массах. Однако наблюдательная проверка показала, что это не так. Л.Стригари (L.Strigari; Калифорнийский университет в Ирвине, США) и его коллеги измерили спектры звезд в 18 карликовых спутниках Млечного Пути, полученные с помощью телескопов «Keck» (Гавайские о-ва, США) и «Magellan» (Чили), и по доплеровскому сдвигу определили разброс скоростей звезд в каждой галактике. Эти данные позволили авторам работы оценить динамические (гравитирующие) массы рассматриваемых звездных систем.

Как ни странно, несмотря на колоссальный разброс в светимостях, гравитирующая масса у всех изученных карликовых галактик в окрестностях Млечного Пути оказалась примерно одной и той же — около 10 млн M_{\odot} . Это значит, что самые тусклые спутники нашей Галактики состоят именно из темного вещества лишь с незначительной примесью «обычной» материи (отношение массы темного вещества к массе «нормального» вещества в них превышает 10000).

В рамках модели, связывающей образование галактик с темным веществом, наличие единой массы темных гало у карликовых галактик означает, что в гало меньшей массы галактики не образовывались или что менее массивные гало вообще не могут существовать. Вероятно, таким образом проявляется некое фундаментальное свойство темной материи. И хотя о природе темных гало, да и в целом о природе темного вещества известно пока крайне мало, результаты Стригари и его коллег свидетельствуют, что исследование карликовых галактик, в которых темные гало остались в «первозданном» состоянии, способны пролить свет на проблему.

Nature. 2008. V.454. P.1096–1097 (Великобритания).

Планетология

Каменное ядро с ледяной коркой в центре Юпитера

Внутреннее строение планет-гигантов продолжает оставаться загадкой. В значительной степени это связано с тем, что физические условия в их недрах пока не удается воспроизвести в земных лабораториях, и потому при расчетах приходится во многом полагаться на теоретические оценки. Б.Милитцер (B.Militzer; Калифорнийский университет в Беркли, США) и его коллеги полагают, что им удалось существенно уточнить наши представления о недрах Юпитера. Воспользовавшись теорией функционала плотности, они провели детальные расчеты уравнения состояния смеси водорода и гелия для всего диапазона физических условий (температуры и плотности), которые можно ожидать на Юпитере.

Прежние оценки массы твердого ядра самой большой планеты Солнечной системы варьировались от семи масс Земли до нуля. Иными словами, согласно некоторым существующим моделям, твердого ядра у Юпитера может и не быть. Построив модель структуры Юпитера с новым уравнением состояния, Милитцер и его коллеги пришли к выводу, что твердое ядро Юпитера не просто существует, но оно в два раза массивнее, чем это предсказывали прежде самые смелые оценки. Сопоставление модели с данными о размерах, поверхностной температуре, гравитационном поле и форме Юпитера говорит о том, что его каменное ядро имеет массу от 14 до 18 масс Земли, или около 1/20 полной массы планеты.

В центре каменного ядра, возможно, находится область с повышенным содержанием железа и никеля, как на Земле, а снаружи оно покрыто слоем метанового, аммиачного и водяного льда. Масса ледяной коры составляет до четырех масс Земли. Выше — атмосфера, состоящая в основном из водорода и гелия, в которой ледяных частиц практически нет. «Такая картина

внутреннего строения Юпитера сильно отличается от других моделей, предсказывающих относительно небольшое ядро и наличие смеси льдов по всей атмосфере, — отмечает Милитцер. — В целом, можно сказать, что Юпитер — это те же Нептун или Уран, но только с мощной газовой оболочкой».

Модель Милитцера и его коллег позволяет также сделать некоторые другие предсказания. Например, чтобы в ее рамках описать наблюдаемое гравитационное поле Юпитера, необходимо предположить, что различные части этой планеты вращаются с разными скоростями. В целом Юпитер можно представить в виде набора концентрических слоев, вращающихся вокруг оси планеты, причем экваториальные области имеют более короткий период обращения, чем более близкие к полюсам. Зная уравнение состояния, можно также оценить условия, необходимые для возникновения конвекции в атмосфере Юпитера. По мнению авторов работы, условия эти выполняются во всем диапазоне высот над твердым ядром, и потому атмосфера Юпитера очень хорошо перемешана, практически без какой бы то ни было химической дифференциации.

Возможность проверить предсказания Милитцера и его коллег представится довольно скоро. Самы авторы надеются получить подтверждение своих выводов при помощи космического зонда «Juno» (NASA), запуск которого запланирован на 2011 г., а прибытие к Юпитеру — на 2016 г. Используя этот аппарат, предполагается, в частности, получить детальную информацию о гравитационном и магнитном полях Юпитера.

Astrophysical Journal. 2008. V.688. P.L45–L48 (США).

Физика

СТМ-литография нанолент из графена

Для практической реализации идей наноэлектроники предстоит решить две основные задачи: научиться с высокой точностью из-

готавливать элементы наноэлектронных устройств и объединять эти элементы в функциональные цепи. Попытки сконструировать такие устройства из углеродных нанотрубок (обладающих необходимыми электронными характеристиками) натолкнулись на отсутствие надежных методов селективного роста нанотрубок с требуемой хиральностью и необходимость формирования между ними электрических контактов.

Альтернативой нанотрубкам может служить графен, точнее — его наноразмерные фрагменты. Электронная структура узких графеновых нанолент (в том числе ширина запрещенной зоны E_g) определяется их геометрической шириной и кристаллографической ориентацией, что делает принципиально возможным изготовление нанолент с заданными электронными характеристиками. Однако стандартным методом электронно-лучевой литографии не удается получить наноленты, узкие настолько, чтобы величина E_g (обратно пропорциональная геометрической ширине наноленты) оказалась достаточной для их использования в устройствах с комнатной рабочей температурой. Кроме того, при электронно-лучевой литографии затруднен контроль ориентации нанолент.

Венгерские и бельгийские нанотехнологи предложили новый способ изготовления графеновых нанолент и их соединения между собой¹. Он основан на использовании сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) и назван СТМ-литографией. Подавая на иглу СТМ большое напряжение (несколько вольт — значительно больше, чем при получении СТМ-изображения) и двигая иглу по графену с постоянной скоростью (несколько нанометров в секунду), удается в буквальном смысле «вырезать» из графена наноленту, ширину которой можно контролировать с нанометровой точностью. Электрические свойства наноленты определяются ориентацией линии разреза относительно кристаллогра-

¹ *Tapasztó L. et al. // Nature Nanotechnol. 2008. V.3. P.397–401.*

фических осей. Изменение направления движения иглы приводит к образованию двух контактирующих нанолент с разным типом проводимости. Таким образом можно создавать сложные интегрированные наносхемы — основу будущей наноэлектроники.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2008. Т.15. Вып.15/16).

Химическая физика

Фуллерены в нанотрубке

Внутренние полости углеродных нанотрубок могут служить вместилищем для разных кластеров и молекул, в том числе для фуллеренов. Интернациональная группа исследователей во главе с М.Ашино (Германия)² методами атомно-силовой и просвечивающей электронной микроскопии изучала такие «стручки»: одностенные нанотрубки, изготовленные путем соответствующей термообработки и последующего осаждения на подложку SiO_2/Si , с содержащимися в них металлофуллеренами $\text{Dy}@C_{82}$.

Расстояние между центрами соседних фуллеренов составляло 1.05 ± 0.05 нм. Ученым удалось построить «карту» сил, действующих на иглу микроскопа со стороны «стручка», с атомным разрешением и таким образом определить упругие характеристики отдельных фуллеренов. Поскольку теория предсказывает, что заключенные в нанотрубку молекулы могут перемещаться вдоль ее оси практически без трения, на следующем этапе было бы интересно попытаться «подвигать» фуллерены все той же иглой.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2008. Т.15. Вып.13/14).

Биохимия

Такие нужные слезы

Эта солоноватая жидкость выделяется из глаз и носа, когда человек плачет под влиянием каких-то сильных эмоций. Эти «психогенные слезы» содержат вещества, способные снимать стресс. Эти «психогенные слезы» содержат вещества, способные снимать стресс. Эти «психогенные слезы» содержат вещества, способные снимать стресс.

² *Asbino M. et al. // Nature Nanotechnol. 2008. V.3. P.337–341.*

ные» слезы, один из четырех типов слез, проливает только человек. Ни одному другому животному этот тип не свойствен. От яркого света, холода, ветра, инородных тел или раздражающих газов и жидкостей выделяются (возможно, у всех наземных и земноводных позвоночных, за исключением змей) «рефлекторные» слезы. Позвоночные, обитающие на суше, льют также и «продолжительные» слезы. И наконец, есть четвертый тип слезотечения, он обусловлен генерализованным (не слезоточивым) воздействием на организм химических веществ, которые приносят к слезной железе кровь.

Слезы смачивают и смазывают роговицу и веки, служат заменителем крови для роговой оболочки, удаляют инородные тела, отмершие клетки и прочие частицы, транспортируют кислород и углекислый газ, играют главную роль в поддержании нормального функционирования глазной поверхности и конъюнктивы.

Слезная жидкость, по химическому составу подобная сыворотке крови, образуется в слезной железе и поступает к поверхности глазного яблока через свод конъюнктивы. Увлажняя яблоко, слезы стекают к внутреннему углу глаза и «сливаются» в слезные каналцы на веках, затем попадают в слезный мешок, а оттуда — в полость носа. Скорость тока слезной жидкости в глазу составляет 1 мкл/мин, объем — 7 мкл (конъюнктура может удерживать до 24 мкл), причем полностью сменяется она за 5-6 мин.

Покрывающая роговицу слезная пленка состоит из трех слоев: липидного, водного и слизистого. Водный слой (он занимает примерно 98% всей толщины пленки) — это сложный раствор с низкой концентрацией неорганических электролитов (ионов Na, K, Ca, Mg, Cl, бикарбоната), органических низко- и высокомолекулярных веществ. В их числе: глюкоза, аминокислоты, мочевины, белки (60 из них идентичны сывороточным) и ферменты.

Слизистый слой содержит высокомолекулярные гликопротеины и многие соединения водной фазы.

Липидная фаза формирует внешний слой слезной пленки и препятствует испарению жидкости, а такие компоненты, как иммуноглобулин А, лизоцим и лактоферрин, придают фазе бактерицидные свойства. Кроме того, липиды предотвращают переувлажнение кожи век и сдерживают слезотечение.

Если по концентрации большинства соединений слезная жидкость сходна с сывороткой, то содержание фермента лизоцима превышает сывороточное примерно в 1000 раз. Оказалось, что слезные железы не только концентрируют и экскретируют лизоцим, поступающий из крови, но и сами синтезируют этот наиважнейший антибактериальный фермент слез.

Одни из самых важных ферментов слез, протеолитические, играют решающую роль в патогенезе ряда заболеваний роговицы, и потому даже незначительные изменения активности протеаз могут служить для ранней диагностики. Вообще содержание разных ферментов в слезах непостоянно, оно меняется из-за болезней глаз, действия химических соединений, в том числе лекарств, ношения контактных линз. А значит, изменения в уровне ферментов вполне пригодны для диагностики многих глазных болезней.

Биохимия. 2008. Т.73. Вып.4. С.469—482.

Зоология

Эти удивительные менемерусы

Удивительное поведение пауков-скакунок вот уже более 20 лет изучает группа исследователей под руководством арахноэтолога Р.Р.Джексона (R.R.Jackson; Кентерберийский университет, Новая Зеландия)¹.

Пауки-скакуны, Salticidae, — самое многочисленное по числу видов семейство пауков. У них наиболее хорошо среди пауков развито зрение; охотятся они активно, причем самыми разными, подчас очень причудливыми способами.

¹ См., напр.: Михайлов КГ. Пауки-скакуны и этология // Природа. 1992. №6. С.111.

Недавно Джексон с коллегами проводил исследования в Восточной Африке — в Кении, у берега оз.Виктория². Недалеко от воды стены ближайших построек буквально сплошь покрывают мелкие комарики семейств Chironomidae и Chaoboridae, служа хорошей добычей муравьям. А этих муравьев с пойманными комариками выслеживают, как оказалось, три вида пауков-скакунок рода *Menemerus*. Интересно, что другие живущие здесь же скакуны не обращают на муравьев никакого внимания. Выхватывать добычу способны и самки, и самцы, и молодые неполовозрелые менемерусы.

Скакунык выдвигается за колонной муравьев, выдерживая дистанцию 5—10 см. Потом стремительно приближается, становится спереди избранного муравья, немного приподнимается на передних ногах и столь же стремительно выхватывает добычу из его челюстей! После этого паук быстро уходит на расстояние хотя бы 10—20 см от колонны муравьев, находит укрытие и в течение 1—10 мин съедает добычу.

К сожалению, в рамках опубликованного журнального сообщения некоторые вопросы остались для меня неясными. Непонятно, каковы относительные размеры скакунок и муравьев (видимо, они примерно одинаковы), сколько секунд длится непосредственная атака паука. Однако авторы указывают, что в 1930-е годы похожие наблюдения были проведены в Индии. Можно сделать предварительный вывод, что пауки-менемерусы часто отбирают добычу у муравьев. Кстати, пауки этого рода живут и севернее — например, на Кавказе. Там их питание тоже изучали, но про взаимоотношения с муравьями кавказский арахнолог ничего не написал³. Хотя в Азербайджане местный менемерус охотится на мух как раз на

² Jackson R.R., Salm K., Pollard S.D. // Journal of Arachnology. 2008. V.36. №3. P.609—611 (США).

³ Guseinov E.F. // European Arachnology 2003. Proceedings of the 21st European Colloquium of Arachnology, St.-Petersburg, 4—9 August 2003. P.93—100 (Россия).

каменных стенах, при этом проявляет нетипичное для скакунчиков поведение: подкрадывается к мухам сзади, а не спереди. Заметим, что подкрадываться к мухе спереди вообще очень неразумно — у нее все-таки неплохое зрение, и она может просто улететь, не дожидаясь приближения врага...

Подождем более подробной статьи от Джексона со всеми деталями наблюдений и новых сведений о менемерусах из других уголков Старого Света.

© Михайлов К.Г.,

кандидат биологических наук
Москва

Экология

Зоохория кувшинки белой

Кувшинка белая (*Nymphaea alba*) — водное растение с белоснежными цветами, широко распространенное в стоячих и медленно текущих водоемах Европы и Малой Азии. Широко-то широко, да вот только *N. alba* стремительно исчезает во многих регионах — сейчас ее густые заросли можно увидеть лишь в заповедных и труднодоступных местах. Это интенсивно развивающееся и нетребовательное растение исчезает в густонаселенных районах — там, где загрязняются водоемы. Впрочем, есть еще одно обстоятельство, препятствующее воспроизводству и распространению кувшинки белой. Эти растения размножаются либо вегетативно (делением корневищ), либо семенами, которые переносятся исключительно водой (гидрохория). Мясистые, подобные ягодам плоды *N. alba* созревают под водой, а семена с газосодержащей оболочкой поднимаются к поверхности и разносятся течением по всему водоему. Никаких приспособлений, которые позволили бы им прикрепиться, например, к водолавающим птицам и попасть из одного замкнутого водоема в другой, у семян этих растений нет.

Однако семена *N. alba* нередко находят в экскрементах болотной

черепахи (*Emys orbicularis*), которая встречается в таких же водоемах, что и кувшинка, да и ареалы двух видов почти совпадают. Известно, что болотная черепаха всеядна — обычно охотится на мелкую рыбу, земноводных, червей, моллюсков и ракообразных, но не отказывается и от растительной пищи, в частности от сочных плодов кувшинки.

Испанские исследователи из Университета Виго¹ в течение двух лет проводили эксперименты по прорастиванию семян нимфеи, собранных из экскрементов черепах. Семена прорастивали как на свету, так и в темноте; как сразу после сбора, так и после хранения в течение года. Любопытно, что в выборке каждого экскремента было в среднем 775 семян.

Из свежесобранных семян те, что прошли через пищеварительный тракт, прорастали чуть хуже, чем контрольные. Но разница невелика — всхожесть 91 и 99% соответственно. Спустя год всхожесть семян при прорастивании на свету в обеих группах была равной, а в темноте «черепаши» семена прорастали даже лучше естественных! Стало ясно, что пищеварительный тракт черепах не оказывает пагубного влияния на жизнеспособность семян *N. Alba*, а значит, они могли бы, казалось, играть важную роль в распространении этого растения. Однако в Европе болотная черепаха еще более редкий и исчезающий вид, а потому ее участие в расселении кувшинки незначительно. Тем не менее испанские ученые предполагают, что мясистые плоды *N.alba* могут привлекать других животных. Так, потенциальными переносчиками семян могут служить некоторые водолавающие птицы. В любом случае распространение кувшинки обеспечивается не только гидрохорией, как считалось ранее, но и зоохорией (переносом семян животными).

© Семенов Д.В.,

кандидат биологических наук
Москва

Геотектоника

Роль трещиноватости пород в эволюции земной коры

Используя эксперименты по разрушению образцов горных пород при высоких давлениях и температурах и сопоставляя полученные результаты с имеющимися сведениями о глубинных разломах и границах в коре и верхней мантии, С.Ю.Милановский и В.Н.Николаевский (Институт физики Земли РАН) проанализировали состояние и развитие земной коры. При этом использовался прием скейлинга (перенос данных изучения кернов на масштабы земной коры) в сопоставлении с результатами сейсмондирования, магнитотеллурии, петрофизики и геохимии.

Авторы исходили из следующих представлений: если горные массивы по своим прочностным свойствам близки к гранитам, то их хрупкое разрушение возможно вплоть до границы Моховичича, а значит и кора в целом гидравлически проницаема для воды и газов. Количественные отклонения в прочности между гранитами и различными метаморфическими породами (базальтами, перидотитами, амфиболитами и др.) обуславливают широкую вариативность в строении коры, что и наблюдается в геологическом разнообразии, в том числе в различных континентальной и океанической коры.

Введение воды в качестве геологического фактора обеспечивает при анализе отличие пород коры от мантии, меняет динамику разрушений — в действие вступают элементы самоорганизации в ходе эволюции литосферы. Само присутствие воды при разрушениях в нижней коре ведет к разломным нарушениям в амфиболитах, к плавлению гранитов. С наличием или отсутствием воды связаны и типы метаморфизма. Внутри земной коры становятся принципиально важными различия в типах хрупкого разрушения, которые зависят от хода геотер-

¹ Calviño-Cancela M., Ayres Fernandez C., Cordero Rivera A. // Ecoscience. 2007. V.14. P.4.

мы и от конкуренции между напряжениями по вертикали и горизонтали, что объясняет существование волноводов благодаря вышележающему глубинных разломов в средней коре.

Изменения сейсмических скоростей обусловлено не только сменой пород, но и уровнем их трещиноватости. Пустотность системы трещин чувствительна к возмущениям поля напряжений, которые проявляются как при землетрясениях, так и при квазистационарном развитии тектонических событий. Температура на границе Мохоровичича в 600°C является критической для различия в реологии пород верхней мантии — выше этого порога происходящие деформации зависят от скорости разрушения, что ограничивает зону накопления упругой энергии земной коры за счет реагирования верхней мантии на тектонические изменения в форме пластических течений, остаточные следы которых проявляются в анизотропии сейсмических скоростей.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13–17 октября 2008 г. С.81.

Океанология

Отклик первичной продукции моря на потепление климата

Для создания прогнозных моделей, связывающих климатические изменения с изменениями биогеохимических циклов в высоких широтах планеты, А.А.Ветров и Е.А.Романкевич (Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва) проанализировали межгодовую изменчивость первичной продукции и потоков органического углерода в арктических морях России. Для анализа были взяты две ключевые характеристики функционирования арктической экосистемы, которые определяют круговорот органического и неорганического углерода в системе атмосфера—океан—суша, — это первичная продукция и захоронение углерода в донных осадках.

На трех полигонах в Баренцевом, Карском и Чукотском морях авторами рассчитывалась первичная продукция в столбе воды на основе спутниковой регистрации содержания хлорофилла в поверхностных водах, которая определялась с помощью сканеров цвета SeaWiFS (1998—2006) и MODIS (2002—2006). Используя эмпирические зависимости между первичной продукцией и глубиной оседания детрита, рассчитывались потоки органического углерода на дно и доля C_{org} , который захоранивается в донных осадках, будучи выведенным из быстрого биотического круговорота в более длительный геологический цикл. Работы на данном этапе велись в условиях открытой воды и минимального влияния ледовой обстановки. При выборе размера и местоположения полигонов критериями служили: длительность периода открытой воды, большой объем наблюдений за период вегетации и отсутствие значительных речных поступлений.

В отличие от спутниковых наблюдений, проводившихся в течение всего года, натурные измерения приходились на август—сентябрь, наиболее доступные для навигации. Из-за различий в алгоритмах расчета хлорофилла по данным разных сканеров цвета была необходима соответствующая коррекция спутниковых данных. Скорректированные показатели содержания хлорофилла в поверхностных водах ($\text{мг}/\text{м}^3$) переводились в первичную продукцию в столбе воды ($\text{мг C}/\text{м}^2$ в день) на основе эмпирических соотношений между этими величинами, которые были получены для довольно прозрачных вод Баренцева и Чукотского морей и для вод Карского моря, подверженных сильному речному стоку. Спутниковые данные по хлорофиллу усреднялись за восемь дней наблюдений: если определенный участок моря приоткрывался для обзора хотя бы при одном пролете спутника, измеренная концентрация присваивалась всему восьмидневному интервалу на этом участке.

По заключению авторов, динамика первичной продукции показывает ярко выраженную сезонность в активности фитопланктона. В Баренцевом и Чукотском морях максимум наблюдается в мае, когда инсоляция высока, а воды обогащены биогенными веществами после зимнего перемешивания и за счет таяния льдов; второй, более слабый максимум приходится на конец августа — сентябрь, когда фотический слой обогащен биогенами за счет начала осеннего перемешивания вод. Карское море позднее освобождается от льда, и единственный максимум фотосинтетической активности приходится на август—сентябрь.

В межгодовой изменчивости первичной продукции существуют колебания по сравнению со средней ее величиной и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения. Так, линейный тренд 1998—2006 гг. показывает слабое увеличение первичной продукции в Баренцевом море (3.4% в год) и небольшое уменьшение в Карском (–5.3%) и Чукотском (–3.3%) морях, а тренд 2003—2006 гг. демонстрирует ее снижение в Баренцевом море на 8% в год, в Карском — на 27%, а в Чукотском — на 7%. Годовая первичная продукция по полигону (10^6 т C/год) вычислялась путем суммирования первичной продукции, нарабатанной за каждый день.

Завершив исследования, авторы заключают, что первичная продукция фитопланктона в арктических морях, даже в районах, наименее подверженных речному стоку и ограничениям периода вегетации из-за ледового покрова, чутко реагирует не только на ярко выраженные сезонные изменения среды, но и на ее межгодовую динамику. Отмечена общая тенденция увеличения первичной продукции в 1998—2007 гг. и некоторое ее снижение после 2003 г. Рост величины суммарной продукции и числа наблюдений объясняется большим периодом открытой воды.

Поскольку первичная продукция фитопланктона служит основным источником автохтонного

органического вещества, то и захоронение $C_{орг}$ в донных осадках меняется в соответствии с количеством нарабатываемого фотосинтезом органического вещества. Захоронение углерода в донных осадках играет роль отрицательной обратной связи в процессах изменения климата.

Океанология. 2008. Т.48. №3. С.371–380 (Россия).

Сейсмология

Землетрясение в Киргизии

5 октября 2008 г. на юге Киргизии, вблизи границ с Китаем и Таджикистаном, произошло сильное землетрясение с разрушительными последствиями. Магнитуда главного толчка $M = 6.6$, интенсивность в эпицентре 7–8 баллов, глубина очага 28 км или более. Колебания охватили юго-восток республики, в ослабленном виде сотрясения в 3–4 балла докатились до столиц Киргизии и Таджикистана: Бишкека (на эпицентральной дистанции 390 км) и Душанбе (430 км). За неполные первые сутки после главного толчка зарегистрировано 14 сильных афтершоков.

Алайская долина — это отдаленный район между высокими Алайским и Заалайским хребтами. В этой долине на абсолютной высоте более 3 тыс. м расположено всего несколько населенных пунктов. Значительные сотрясения охватили весь район, но сильные разрушения и повреждения зданий возникли только в пос.Нура. Здесь из 700 жителей погибло 74 человека (из них 42 ребенка), ранено около 160 человек, из них 36 тяжело. В поселке разрушено свыше 135 зданий, в том числе общественные (правда, сельская школа и фельдшерский пункт получили лишь незначительные повреждения). В развернутом вскоре палаточном городке находились 250–300 человек, а на разборе завалов работало до 500 спасателей.

По словам местных жителей, толчок произошел внезапно, дома

как бы подбросило вверх, а затем повергло вниз, что может указывать на близость поселка к эпицентру и на связь землетрясения с подвижкой по взбросу. Последнее тем более вероятно, что к югу от поселка проходит крупная зона субширотного разлома, имеющего взбросовый характер. Определения механизма очага по записям свыше 200 мировых сейсмических станций показали именно взбросовую подвижку по разлому восток-северо-восточного прогира.

Кстати, именно с этой зоной на границе высокогорного Памира и Алайской впадины были связаны два предшествующих, значительно более сильных землетрясения второй половины XX в. Первое из них, Маркансуйское ($M = 7.3$, интенсивность в эпицентре 9 баллов), произошло в 1974 г. в нескольких десятках километров южнее. Эпицентральная область оказалась тогда в совершенно ненаселенной горной местности, и потому землетрясение не имело серьезных последствий, если не считать крупных лавин, ледопадов и, возможно, обвалов в горах. Следующее сейсмическое событие, разразившееся в 1978 г. на южном обрамлении Алайской долины, значительно западнее, имело силу 8 баллов и серьезные последствия для ряда близлежащих киргизских поселков. Проведенное после землетрясений 1974 и 1978 гг. сейсмологическое исследование говорило о высоком сейсмическом потенциале всей зоны и вероятности последующих разрушительных событий. Так что землетрясение 2008 г. нельзя считать удивительным и даже неожиданным.

Область землетрясения пока обследована в ограниченном масштабе ввиду труднодоступности. Все, что известно к настоящему времени, вызывает как минимум два важных вопроса.

Неясно, почему при столь большой магнитуде и эпицентральной интенсивности толчка разрушения возникли лишь в одном пункте. Окружающие поселения и пограничные заставы полу-

чили очень слабые повреждения, присущие сотрясениям не более 6 баллов. И несмотря на горный характер местности, на склонах не отмечено обвалов и оползней. В грунтах вокруг поселка обнаруживались нитевидные трещины, на окружающих поселок склонах возникали трещины-заколы, но оползни и обвалы не появились. Если взглянуть на хорошую карту, то нетрудно увидеть, что на крайнем востоке Алайской долины ближайшие поселки располагаются от разрушенной Нуры в северном и западном направлениях, а к югу от нее, ближе к высокогорью, даже по долине р.Нура ни одного поселения нет. В этот высокогорный район ни специалисты, ни комиссии и не заглядывали, так что неизвестно, что именно там случилось. Но для прояснения собственно сейсмологических вопросов и оценки текущей геодинамической ситуации как раз этот высокогорный и ближайший к зоне опасного разлома участок представляет первостепенный интерес. (Кстати, все это находится вблизи государственной границы.)

В информационном сообщении Геофизической службы РАН очаг землетрясения отнесен к Южно-ташкентскому разлому. Между тем инструментальные и макросейсмические данные позволяют соотносить событие с северной границей Памира, где проходит известная сейсмогенерирующая зона Предзаалайского разлома, вдоль которой и возникли сильные Маркансуйское 1974 г. и Алайское 1978 г. сейсмические события.

Второй вопрос важен в прямом практическом смысле: с чем связаны столь значительные разрушения и жертвы в пос.Нура? Большинство домов здесь было построено из саманного «кирпича» (т.е. земляных с соломой необожженных брикетов), часть — из обычного кирпича, но на слабом глиняном растворе без связующего цемента. Антисейсмические нормы не применялись. Неудивительно, что стены треснули и обвалились, как и поддерживаемые ими тяжелые шиферные кры-

ши. Отсюда и значительное число жертв и пострадавших. Показательно, что несколько деревянных финских домиков в поселке остались невредимыми. Влияния местных грунтовых условий заметить не удалось. Да и вообще поселок расположен в условиях благоприятных — на двух ровных поднятых над руслом реки террасах. Остается лишь одно объяснение значительных разрушений и жертв: очень низкое качество строительства. Проблема, увы, застарелая и широко распространенная во многих развивающихся странах.

© **Никонов А.А.**,
доктор геолого-
минералогических наук
Москва

Археология

Терезин — новый гунно-сарматский памятник в Туве

В 2007—2008 гг. отдельный отряд Тувинской археологической экспедиции Института истории материальной культуры РАН обследовал могильник Терезин. Он расположен в Чаа-Хольском р-не Республики Тува, на южном берегу Саяно-Шушенского водохранилища. Во время наибольшего подъема уровня воды здесь происходит активная береговая абразия. В ходе экспедиции, сообщает П.М.Леус, была обследована береговая полоса и возвышавшиеся над ней береговые обрывы: на участке длиной 1.5 км обнаружены разрушающиеся и уже разрушенные погребения (упавшие с высоты 5—10 м на берег) и собрана коллекция подъемного материала. Погребения расположены, видимо, группами, в нескольких сотнях метров друг от друга. Над могилами какие-либо сооружения или вообще отсутствуют, или полностью занесены песком — более точная информация возможна только после геофизической разведки.

На могильнике Терезин расплано два погребения (2 и 3). Погребение 2 представляло собой ящик из каменных плит, ориентированный длинной стороной по оси север—юг. В ящике прямоугольной формы размером 160×70 см был погребен взрослый мужчина; он лежал на правом боку с подогнутыми вправо ногами, головой на север. Из-за смещения плит перекрытия вниз его череп оказался в области живота, а правая лопатка и плечевая кость — у северной стенки ящика; в остальном погребение осталось непо потревоженным. Вдоль восточной стенки ящика стояли два целых керамических сосуда: за спиной погребенного — плоскодонный сосуд грубой лепки, с широким горлом и двумя налепными ушками, в самом сосуде и возле него находились кости овцы; второй сосуд, кувшинообразной формы с узким горлом, стоял за согнутыми коленями погребенного и был изготовлен, вероятно, на примитивном гончарном круге, о чем свидетельствует штамп от поворотной площадки на его дне. Вдоль западной стенки ящика лежал лук с костяными накладками (к сожалению, не все из них были обнаружены); здесь же находился колчан со стрелами, от которых сохранились семь костяных наконечников. На поясе у мужчины обнаружена пряжка из рога и несколько железных предметов очень плохой сохранности (возможно, нож, шило и детали поясного набора). Большая берцовая кость правой ноги была сломана в двух местах, а малая берцовая — в одном месте. Переломы полностью срослись за несколько лет до смерти захороненного.

Погребение 3 располагалось южнее в 4 км, на этой же террасе берега. Оно тоже было совершенно в каменном ящике, который к моменту раскопок сместился в сторону и вниз не менее чем на 1 м, в результате чего находившиеся

в нем кости ребенка были частично раздавлены и перемешаны с каменными плитами, а частично утеряны в осыпи обрыва. Среди костей этого скелета найден сильно корродированный нож с остатками деревянных ножен.

Вдоль береговой линии водохранилища были осмотрены еще несколько скоплений каменных плит. В одном из них найдена ажурная бронзовая поясная бляшка с изображением двух бычьих голов (совершенно аналогичные поясные пластины с изображением голов животных и решетчатым орнаментом известны по находкам в Минусинской котловине).

Характер погребального обряда и облик материальной культуры позволили автору предварительно датировать этот могильник II в. до н.э. — I в. н.э. Здесь наряду с рудиментами скифской традиции — захоронение на боку с подогнутыми ногами в каменном ящике — присутствует и весь классический набор материальной культуры сюнну: это ажурные поясные пластины, характерная керамика, костяные накладки на лук и наконечники стрел, ханьское зеркало и др. Ориентировка погребенного головой на север тоже указывает на традиции, присущие сюнну. Автор заключает, что в Терезине представлена еще не окончательно сформировавшаяся местная постскифская культура, которая уже полностью восприняла материальную культуру сюнну, но пока еще не отказалась от элементов погребального обряда скифского времени.

Несмотря на существующий значительный материал по проблеме формирования и развития культуры гунно-сарматского времени в Туве, эта тема остается недостаточно раскрытой, главным образом из-за отсутствия публикаций большей части имеющихся сведений.

Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. 2008 г. Т. II. С.42—44 (Россия).

Он между нами жил...

Член-корреспондент РАН Л.И.Пономарев
Российский научный центр «Курчатовский институт»
Москва

Расширенное издание воспоминаний о Я.Б.Зельдовиче только что появилось. Книга в рекламе не нуждается хотя бы потому, что ее тираж (600 экз.) мгновенно разоидется по ученикам, друзьям и почитателям ЯБ (так все его называли при жизни). Но в наше время (и научное безвременье) эта книга заслуживает того, чтобы к ней было привлечено более широкое внимание. Ее написали друзья, сотрудники и коллеги ЯБ — общим числом 72, из них добрая половина — его ученики, половина из которых — ныне здравствующие члены Российской академии наук.

Сам я Зельдовича близко не знал, встречался с ним только однажды в 1979 г. на сессии ядерного отделения РАН в МИФИ. Я шел по проходу после своего доклада о мюонном катализе, как вдруг мне преградила путь протянутая рука: ЯБ усадил меня рядом с собой и тут же стал требовать подробностей. (Тема моего доклада была его давней любовью, и до сих пор у меня хранится тетрадь, подаренная мне С.С.Герштейном, в которой ЯБ писал свои заметки по μ -катализу на секретном «объекте» еще в 1957 г.)

Мемуарная литература — жанр специфический (как и ее читательский контингент), но круг читателей существенно расширяется, когда героем воспоминаний становится выдающаяся личность в любой сфере человеческой деятельности. ЯБ несомненно принадлежит к их числу, а по совокупности особенностей своей биографии и характера он — личность легендарная. Я.Б.Зельдович родил-

ся в Минске 8 марта 1914 г. (до конца своих дней ЯБ будет шутить, что он — подарок женщинам). В 17 лет он окончил школу в Ленинграде и пошел работать лаборантом в Механообр — организацию, название которой сейчас известно только благодаря ЯБ. Вскоре он с экскурсией попал в Институт химической физики (ИХФ), где настолько поразил сотрудников своей эрудицией, что уже через два месяца они постарались перевести его к себе в институт (веселые языки утверждали, что его выменяли на форвакуумный насос). Уже через год (в 18 лет) он написал свою первую научную работу, а в 1936 г. защитил кандидатскую диссертацию (без диплома о высшем образовании: задним числом он пытался исправить этот недочет и даже два года числился заочником ЛГУ, но так и не довел до конца этот замысел). В 1939 г., в возрасте 25 лет, ЯБ защитил докторскую диссертацию, а еще за год до этого ученый совет ИХФ единогласно выдвинул его кандидатуру в Академию наук СССР. В 1943 г. он вместе с институтом переезжает в Москву, где четверть века будет работать на оборону страны: вначале разрабатывать научные основы пороховых зарядов легендарных «Катюш» и первых твердотопливных ракет, затем — создавать «ядерный щит Родины».

Еще до Великой войны 1941—1945 гг. ЯБ развил детальную теорию горения и создал на тот момент наиболее полную картину распространения огня — самого древнего символа цивилизации. Кроме этого он создал теорию детонации взрывчатых веществ (неизбежного спутника той же цивилиза-



ЯКОВ БОРИСОВИЧ ЗЕЛЬДОВИЧ (воспоминания, письма, документы). Под ред. С.С.Герштейна и Р.А.Сюняева.

Изд. 2-е, доп. М.: Физматлит, 2008. 416 с.

ции). Весь цикл его работ по кинетике горения и взрыва надолго стал базисом этой науки, а по его монографии, написанной совместно с Ю.П.Райзером в 1966 г., «Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических течений», обучается уже третье поколение исследователей. «В теории горения невозможно выполнить исследование, которое так или иначе не было бы связано с именем Зельдовича», — пишет в сборнике академик А.Г.Мержанов.

К моменту открытия деления урана Я.Б.Зельдович был готов немедленно рассмотреть кинетику цепных ядерных реакций, и его совместные с Ю.Б.Харитоновым три предвоенных статьи 1939—1940 гг. по этой проблеме и два обзора (первые в мире) стали впоследствии фундаментом советской ядерной программы. Уже в 1940 г. он совместно с И.И.Гуревичем и И.Я.Померанчуком оценил критическую массу атомной бомбы из урана-235, и когда в 1943 г. И.В.Курчатов был назначен научным руководителем программы создания атомного оружия, Зельдовича он привлек к ней в числе первых.

В 1947 г. ЯБ оказался в секретном городе Арзамас-16 (ныне Саров), отчасти не по своей воле: в Институте химической физики начали тогда борьбу с космополитизмом, в которой досталось и ЯБ, и О.И.Лейпунскому, и даже самому директору Института Н.Н.Семенову, будущему Нобелевскому лауреату*.

* Традиции партийной организации ИХФ оказались прочными и четверть века спустя: на собрании трудового коллектива, осудившего побег за границу и покаянное возвращение оттуда сотрудника ИХФ Саясова, выступали передовые рабочие, речи которых опубликовала газета «Правда»: «Мы добрый народ и простим Саясова, но пусть он честным трудом, а не научной работой искупит свою вину перед Родиной», — говорили они. Что они говорили о ЯБ — в истории не сохранилось, но известно, что держался он твердо, вины своей не признавал и не каялся, зато, надев звезду героя, выступал в защиту Н.Н.Семенова.

Он пробыл в Арзамасе-16 18 лет: вначале как глава теоретиков, создавших первую советскую атомную бомбу, а затем совместно с лабораторией А.Д.Сахарова создавал термоядерное оружие. Здесь в полной мере раскрылся талант ЯБ: его универсализм, способность быстро схватывать суть проблемы и находить кратчайшие пути ее решения, умение увлечь людей и довести исследование до результата. Причем без права на ошибку — сейчас уже многим известен принцип, по которому награждали создателей ядерного оружия: «Кого бы мы расстреляли в случае неудачи?». (Эдвард Теллер, отец американской термоядерной бомбы, сетовал, что в американском атомном проекте не было такого человека, как Зельдович, владеющего одинаково хорошо методами газодинамики и ядерной физики.)

Руководство страны высоко оценило работу ЯБ на благо Родины: три золотых звезды Героя труда, орден Ленина, четыре Сталинских премии и одна — Ленинская. К своим наградам он относился спокойно, не кичился ими, но знал, что получены они за настоящее дело. («Будем одевать сегодня звезды?» — спрашивал он у Харитона, собираясь на очередное официальное мероприятие.) Надевал он их редко, чаще всего в тех случаях, когда надо было просить за кого-то у начальства (либо же в милицию — вырывать отобранные водительские права). А помогал он многим: родственникам, сотрудникам, аспирантам и даже студентам. Он «пробивал» им «прописку» и квартиры в Москве, места в общежитии и гостинице, а главное — постоянно работал с ними.

Его рабочий день начинался в 5 утра и продолжался по 12, 14 часов — сколько надо, чтобы завершить намеченное дело. За свою жизнь он опубликовал около 450 работ по двадцати различным разделам физики, воспитал армию учеников и написал около 30 монографий.

Знаменитый американский астрофизик С.Хокинг, встретив его на конференции, говорил, что теперь он знает, что Зельдович — это человек, а не группа ученых под единым псевдонимом, наподобие французских математиков Бурбаки. По универсальности и подходу к физике его часто сравнивают с Ландау (он считал себя его учеником) и Фейнманом, а по роли в атомном проекте — с Энрико Ферми. Его жизнь вместила несколько научных биографий — от теории костра, через взрывы атомных бомб — до космологического Большого взрыва, — пишет о нем Л.В.Альтшулер. (Кроме прозвища «трижды герой», он имел еще одно: ЧВАН — член всех академий наук.)

Ему было уже 50 лет, когда он решил уйти с «объекта» и заняться астрофизикой, космологией и физикой элементарных частиц. В послесловии к двухтомнику своих избранных научных трудов (оно помещено в сборнике воспоминаний) он написал: «Главным было и остается внутреннее ощущение того, что выполнен долг перед страной и народом. Это дало мне определенное моральное право заниматься в последующий период такими вопросами, как частицы и астрономия, без оглядки на практическую ценность их». И здесь он тоже оставил после себя распаханную ниву и плеяду достойных учеников, вырастивших на ней богатый урожай. Американский астрофизик Кип Торн говорит о нем в своих воспоминаниях: «...ни один теоретик второй половины двадцатого века не имел большего влияния на наше понимание астрофизической Вселенной, чем Зельдович».

«Яшка — гений», — говорил о нем И.В.Курчатов.

«Фантастически интересный человек и совершенно исключительный ученый», — добавляет Ю.Б.Харитон.

«Не просто большой ученый, а явление в физике» (академик И.Д.Новиков).

«Радостен, пронзительно талантлив, естественно ярок, многоцветен и ослепителен» (академик В.Е.Фортов).

«Выделялся ярким талантом, настоящей эрудицией, артистизмом и обаянием...любил щегольнуть напускным цинизмом, но в серьезных вопросах вел себя предельно порядочно» (академик Е.Н.Аврорин).

«Талант, эрудиция, неслыханная энергия, безупречная человеческая позиция и доброжелательность к младшим» (академик В.Е.Захаров).

«Быстрота и живость реакции, подвижность мыслительная и телесная определяли и внешний облик Зельдовича. Я никогда не видел у него унылого потухшего взгляда, скучной, пожилой походки» (академик Б.П.Захарченя).

«Человек безграничной энергии, неукротимого любопытства и заразительного энтузиазма — и не только в науке» (Кейт Моффет, член Лондонского Королевского общества).

«Он относился к людям, для которых “есть упоение в бою и бездне мрачной на краю”... Зельдович — явление уникальное в науке. Его пример поучителен и интересен для изучающих свойства и возможности человеческого интеллекта» (О.И.Лейпунский).

Его человеческие качества были столь же неординарны, как и его научный дар. Человек он был азартный, иногда по-детски озорной. Мог прислать телеграмму: «Неприсылка отчетов беспокоит вашу мать. Представьте. Зельдович». Или влезть в окно ведомственной гостиницы, минуя охрану. А еще, нарядившись в халат и тубетейку, плясать на спор вместе с дамой в среднеазиатском поезде, везущем титулованных участников Выездной сессии Российской

академии наук. (И принес-таки тубетейку собранных денег, а было ему в то время уже под 60.) Он любил поэзию, особенно Пастернака, и жил сообразно его кредо: «Во всем мне хочется дойти до самой сути — в работе, в поисках пути, в сердечной смуте...». Его любили женщины, у него было шестеро детей, и о всех них он трогательно заботился. Умер он так же стремительно, как и жил: 2 декабря 1987 г. в возрасте 73 лет, после обширного инфаркта, не входя в сознание.

Много написано, еще больше говорено о многолетнем конфликте ЯБ с А.Д.Сахаровым, инициатором которого он не был и который разрешился только с его смертью. ЯБ бесконечно чтит Сахарова и своим друзьям говорил: «АДС — гениальный человек и ошибки у него — тоже гениальные». Он уважал политический выбор АДС, но не считал возможным следовать ему, полагая, что его гражданский долг — в другом: он хорошо сознавал уровень своей научной значимости и считал безответственным пожертвовать этим редким даром в угоду преходящим социальным ценностям. Провожая ЯБ в последний путь, Сахаров говорил: «Все, кто общался с ним, получили на всю жизнь неоценимые уроки — и по конкретным вопросам, и в качестве примера и образца, как надо работать в науке... Сегодня, прощаясь с Яковом Борисовичем, я хочу сказать, какую огромную роль он сыграл в моей жизни, так же, как в жизни и работе многих и многих людей, как мы его любили, как я его любил, как нам будет его не хватать, как он нам был нужен!»

Окружение АДС не было столь терпимо и обвиняло ЯБ при жизни и после в конфор-

мизме и предательстве друзей и идеалов гуманизма. Своим судьям он мог бы ответить вместе с адмиралом Колчаком: «Я служу России, а не ее образу правления», ему было ближе ветхозаветное: «Богу — богово, а кесарю — кесарево». Он никогда публично не демонстрировал своего свободомыслия, но поступал всегда как свободный гражданин своей страны во все времена ее нелегкой истории: и в расстрельные 30-е, и под прессом Берии, и в новейшее время диктата либеральных идей. В том самом 37-м он женился на Варваре Павловне Константиновой — вскоре после ареста ее старшего брата (через год его расстреляли), т.е. сознательно стал «членом семьи врага народа», а во времена травли Сахарова и Солженицына не подписал ни одного из коллективных «писем протеста».

Примерно такие мысли возникают при чтении книги воспоминаний о Якове Борисовиче Зельдовиче. Думаю, что сегодня она актуальна даже больше, чем 15 лет назад*, во время ее первого издания: глубокий упадок общественного интереса к науке, как неотъемлемой части культуры, во многом связан и с отсутствием в науке таких ярких личностей, как Зельдович, Фок, Тамм, Ландау, Леонтович, Колмогоров, Боголюбов — авторитетных хранителей духа науки, ее нравственных ориентиров. Но в обществе (и даже вопреки ему) всегда сохраняется часть, думающая об устройстве мира, и для этой части книга о Я.Б.Зельдовиче — ученом, человеке и гражданине — будет интересна. ■

* Тогда книга называлась «Знакомый незнакомый Зельдович», М., 1993, составитель — Н.Д.Морозова. (Ее большую первоначальную работу по составлению сборника следует отметить особо.)

Астрофизика

Шильник Л. КОСМОС И ХАОС. ЧТО ДОЛЖЕН ЗНАТЬ СОВРЕМЕННЫЙ ЧЕЛОВЕК О ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ ВСЕЛЕННОЙ. М.: ЭНАС, 2008. 312 с.

Книга дает возможность совершить виртуальное путешествие по Вселенной, заглянуть в ее прошлое и будущее, увидеть ее рождение и смерть. Удивительные квазары, беспокойные пульсары, черные дыры и белые карлики — это лишь некоторые «обитатели» Вселенной, с которыми познакомится читатель. Начинается книга с пересказа древних скандинавских представлений о сотворении мира, которые автор извлекает из эдических мифов — из «Младшей Эдды» и «Старшей Эдды», а приближаясь к завершению повествования, пытается объяснить, что такое «мнимое время» Стивена Хокинга. Пройдя весь очерченный автором путь, проникаешься словами Федора Тютчева, которые отмечены автором:

*Природа знает не знает о былом,
Ей чужды наши призрачные годы,
И перед ней мы смутно сознаем
Себя самих — лишь грезой природы.*

История науки

Есаков В.Д. НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ВАВИЛОВ: СТРАНИЦЫ БИОГРАФИИ. М.: Наука, 2008. 287 с.

«Этот сказочно продуктивный человек сделал для генетического развития сельского хозяйства своей страны больше, чем сделал кто-либо другой для какой-либо страны в мире», — сказал о Николае Ивановиче Вавилоне Герман Мёллер, лауреат Нобелевской премии, в письме к Гордону Бейли. О выдающемся таланте Вавилова и его трагической судьбе написано очень много. Его образ почитаем и любим. Известный

историк науки и архивист В.Д.Есаков обнаруживает новые факты в биографии ученого. Среди них найденный в архиве Л.В.Курносковой — вдовы старшего сына Н.И.Вавилова Олега — студенческий дневник Николая Ивановича.

Он вел его с 27 августа 1907 г. по 16 апреля 1911 г. В нем есть свидетельство, как еще за три месяца до своего 20-летия студент Московского сельскохозяйственного института определяет идеалы, которые составят смысл и значение всей его последующей жизни и деятельности — развитие знания, служение народу и стремление к собственному вкладу в улучшение жизни людей. Дневник показывает, что еще в студенческие годы был определен выбор жизненного пути — опытное дело на основе соединения биологии и агрономии, а формирование мировоззрения шло под влиянием идей Маха. В тетради есть записи и заметки на разные темы. Молодого Вавилова наряду с биологией интересовали социология, женский вопрос, проблемы аграрной политики и пр. В плане политических предпочтений его внимание привлекала программа партии эсеров.

Минералогия

Расцветаева Р.К. СКАЗКИ О МИНЕРАЛАХ. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета им.Н.И.Лобачевского, 2008. 160 с.

Увлекательно и легко пишет автор о структуре минералов — силикатных, боратных, урановых и других. В книге рассматриваются минералогические проблемы, такие как изоморфизм, причины разнообразия ячеек, правила выделения минеральных видов, структурные превращения минералов в ус-

ловиях высоких температур и давлений.

Сюжеты в книге вымышленные, но научные факты переданы точно, поэтому она может служить учебным пособием по кристаллохимии минералов для будущих геологов, минералогов, кристаллографов, геохимиков, химиков и физиков твердого тела. Ее с пользой и интересом прочтет и старшеклассник.

«Трудно наделить животных способностью говорить, как это делал, например, Р.Киплинг, но еще труднее заставить заговорить камни, — пишет в предисловии профессор Е.В.Чупрунов. — Автору этой удивительной книги, не имеющей аналогов в отечественной и зарубежной литературе, это вполне удалось. Читатель увидит, что минералы вовсе не мертвые камни под ногами; они тоже по-своему живут, по-своему разговаривают, радуясь, печальясь, а то и с юмором воспринимают наши реалии».

География

Дубанов И.С. ОЗЕРА, РЕКИ, РОДНИКИ ЧУВАШИИ. Чебоксары: Чувашское книжное издательство, 2008. 207 с.

В основу книги легли материалы научно-полевых экспедиций по изучению озер, рек и родников Чувашии. Читатель найдет в ней также сведения, полученные от краеведов, местных старожилов. Особую важность представляют архивные картографические материалы. В результате такой работы обогатилась этнографическая и топонимическая картина, обозначено место расположения 811, как говорится в книге, водных объектов.

Автор акцентирует внимание и на экологических проблемах, ставит вопросы рационального использования и охраны чувашских вод.

Анекдот* о таблице Менделеева

Е.Г.АТОВМЯН,
доктор химических наук
Институт проблем химической физики РАН
Черноголовка

Эта забавная история произошла много лет тому назад. Июнь... Таня, Миша и Лена — студенты-первокурсники Московского института тонкой химической технологии — готовятся к экзамену по неорганической химии. Кроме огромного количества информации о свойствах химических элементов, которое необходимо было запомнить и успеть донести до экзаменатора, они должны выучить наизусть Периодическую систему элементов Менделеева. Что значит наизусть? Все очень просто: преподаватель называет какой-либо элемент, скажем, золото, а студент, не глядя в таблицу, должен назвать его координаты, т.е. номер периода, в котором он расположен (ось x), и номер группы (ось y). Из всего множества элементов кое-что запомнить, конечно, можно. Например, благородные газы — в крайней правой VIII группе. Их всего шесть, по числу завершенных периодов, а названия многих из них на слуху. Гелием надувают воздушные шарики. Он легче воздуха, и шарики взмывают вверх, если отпустить ниточку. Светящиеся неоновые трубки-вывески тоже все знают. То, что аргон — инертный газ, слышали, наверное, многие. А чтобы укрепить здоровье, нужно принимать радоновые ванны.

Железо, кобальт, никель (элементы побочной VIII подгруппы) — тоже знакомые слова, а рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина (из этой же подгруппы) — уже скороговорка, вроде: «Шла Саша по шоссе и сосала сушку». В принципе запомнить можно. С некоторым напрягом в голове укладывается последовательность элементов во втором периоде: литий, бериллий, бор, углерод, азот, кислород, фтор, неон. Но остальное! Остальное!

И что же придумали наши находчивые студенты? Они решили запомнить названия элементов как слова какой-нибудь песни с подходящей мелодией. Сейчас уж вряд ли кто из студентов знает маршеобразную песню со словами:

*На границе тучи ходят хмуро,
Край суровый тишиной объят.
На высоких берегах Амура
Часовые Родины стоят.*

Оказалось, что названия химических элементов, расположенных в вертикальных столбцах (элементы

главных и побочных подгрупп), легко ложатся на мелодию этой песни. Вспомните ее и попробуйте спеть:

- 1 группа** Литий, натрий, калий, медь, рубидий,
Аргентум, цезий, аурум, франций
2 группа Бериллий, магний, кальций, цинк
и стронций.
Кадмий, барий, гидраргирум, радий.

Ну, и так далее.

Подобрали они мелодии и для горизонтальных строк (периодов) таблицы. Удивительно, но новые «слова» знакомых песен запомнились довольно быстро. Теперь вспомнить, где какой элемент находится, труда не составляло.

Экзамен... Большая комната, разделенная поперек длинными высокими столами для проведения химических опытов. На одной из стен нарисована огромная таблица Менделеева, занавешенная на время экзаменов холщовой тканью. В проходах стоят столики экзаменаторов. Так случилось, что во время сдачи экзамена Таня сидела лицом к стене, а преподаватель — спиной. Рассказав все, что было положено по билету, Танюша замолкла в ожидании дополнительных вопросов. Преподаватель, потирая руки, эдак с ехидцей говорит: «По билету вы ответили прекрасно. А скажите-ка мне, где в таблице Менделеева находится ванадий?». Эка куда загнул! Ванадий! Это же IV период и V группа. Татьяна поднимает голову, несколько секунд смотрит на занавешенную стену (больше ей смотреть просто некуда), «прокручивает» в голове мелодию и дает правильный ответ. Следующий вопрос. Картина та же: пристальный взгляд на стену — короткое молчание — правильный ответ. После третьего верного ответа экзаменатор не выдерживает и резко оглядывается. «Что за чертовщина! Холст на месте, обозначений элементов не видно. Зачем же она туда смотрит? Что видит? Ясновидящая?! Экстрасенс?! Телепат?! И ведь ни к чему не придерешься — все ответы правильные». Так и оставшись в недоумении, экзаменатор выводит в зачетке «отлично».

Получив пятерку, Татьяна радостно «вылетает» из аудитории. Вот смеху-то было, когда она в лицах описывала сдачу экзамена. А много ли студенту надо, чтобы посмеяться? Ну, как же! Обманули преподавателя!

А почему, собственно «обманули»? Такой способ заучивания таблицы Менделеева оказался очень эффективным. Вот уж полвека минуло, а я до сих пор, не глядя, могу сказать, где находятся основные элементы. ■

* Анекдот — впервые публикуемая старая рукопись или короткий рассказ о незначительном происшествии из жизни исторического лица.

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.

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:
Л.М.ФЕДОРОВА
М.В.КУТКИНА

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 16.03.2009
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 139
Набрано и сверстано в редакции

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