

ПРИРОДА

12 04



В НОМЕРЕ:

- 3 Баранов В.С., Баранова Е.В.**
Жить в гармонии со своими генами
Каждый человек генетически неповторим, и для каждого характерен свой биохимический портрет, особенности которого и определяют врожденную предрасположенность к той или иной патологии. Выяснив сильные или слабые стороны своего генома, мы можем узнать, что нас ждет в будущем.

- 10 Бурзин М.Б., Виноградов В.И.**
Преобразование вендских толщ и проблема чистых образцов
Как надо отбирать пробы для изучения остатков ископаемых бактерий или экстрагирования из пород хемофоссилий? Ответ на этот вопрос дают изотопно-геохимические исследования Rb-Sr методом.

- Научные сообщения**
- 19 Семиков С.А.**
О поверхностной электропроводности
Басов И.А.
200-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн» (24)
Смирнова О.В., Бобровский М.В.
Дуб-кочевник (26)

- 31 Лукьянова Т.С.**
Донная жизнь на картах Мирового океана
Картографические методы позволяют получить представление о том, как в океанах распределен зообентос — живущие на дне малоподвижные морские организмы.

- 39 Калейдоскоп**
Тайконавты готовятся к стартам (39). Мумии найдены в Гималаях (39). Астероид стоит награды (39). Морской еж-долгожитель (40). Климат и погода системы Солнце—Земля (40). Последствия атомной бомбардировки: изучение свертывается? (40).

- 41 Дэвлет Е.Г.**
Альтамира — «королева расписных пещер»
К 125-летию открытия пещерного искусства

Заметки и наблюдения

- 47 Уфимцев Г.Ф.**
Поля-террасы в Центральном Непале
- 51 Ритус В.И.**
ЭПИЗОДЫ РОЖДЕНИЯ «СЛОЙКИ»
Годы штурма и натиска (51)
История одного задания (57)
- 62 Абов Ю.Г.**
От рентгеновских лучей к элементарным частицам
К 100-летию Абрама Исааковича Алиханова

- Новости науки**
- 71**
Солнце и гелиосфера в период максимума активности (71). Рождение протопланеты (71). «Возможно обитаемая зона в Галактике» (72). Кипящая планета (72). Новый подход к классификации галактик (73). Проливные дожди на Марсе? (73). Топ-кварк стал тяжелее (74). Магнитнорезистивная память с произвольной выборкой (75). Органические дисплеи — это перспективно (75). Мозг человека развился благодаря редукции жевательных мышц? **Петров П.Н.** (76). Парадоксальное увеличение генетического разнообразия ящеров-вселенцев. **Гиляров А.М.** (76). Когда и откуда пришли первоавстралийцы? (77). **Каляевский погоньш** — птица с Филиппин (77). Нерв под воздействием частиц высокой энергии (78). Неравное соотношение полов в выводках чайки Одуэна. **Опаев А.С.** (78). «Парные» землетрясения часты и информативны (78). Статистика жертв (79). Южноамериканские ледники тают (79). Новый метод изучения плавучих льдов Антарктики (79). Ключ к прогнозу — ветер над морем (79). Неизвестная культура бронзового века (80).
Коротко (50, 61)

Рецензии

- 81 Корякин В.С.**
Зимовка в Ледовой Гавани
- 84 Новые книги**
- 86 Тематический и авторский указатели журнала «Природа» за 2004 год**

CONTENTS:**3 Baranov V.S., Baranova E.V.**
Living in Harmony with One's Genes

Every human being is genetically unique and possesses his or hers own biochemical pattern; the features of this pattern determine congenital predisposition to one or another pathology. Finding out strong and weak points of our genom we can get to know what is prepared for us in the future.

10 Burzin M.B., Vinogradov V.I.
Metamorphosis of Vendian Strata and Problem of Pure Samples

How the samples for finding fossilized bacteria or extracting chemofossilia from embedding rocks should be taken? The answer to this question comes from geochemical isotopic analysis by Rb-Sr method.

Scientific Communications**19 Semikov S.A.**
On Surface Electroconductivity**Basov I.A.****200-th Voyage of «JOIDES Resolution» (24)****Smirnova O.V., Bobrovsky M.V.****A Nomadic Oak (26)****31 Lukyanova T.S.**
Seabed Life on Ocean Maps

Methods of cartography allow to get insight into oceanic distribution of zoobentos — slow-moving animals crawling on seabed.

39 Kaleidoscope

Taikonauts Are Preparing to Starts (39). Mummies Are Found in the Himalayas (39). Asteroid Is Worth of Prize (39). A Long-liver Sea-urchin (40). Climate and Weather of the Sun–Earth System (40). Aftermath of Atomic Bombing: Study Is Curtailed? (40).

41 Devlet E.G.
Altamira — «The Queen of Painted Caves»
To 125-th anniversary of cave art discovery**Notes and observations****47 Ufimtzev G.F.**
Terraced Fields in Central Nepal**51 Ritus V.I.**
EPISODES OF «LAMINATED DESIGN» CREATION
Years of Storm and Onslaught (51)
History of a Task (57)**62 Abov Yu.G.**
From X-Rays to Elementary Particles
To Centenary of Abram Isaakovich Alichanov**71 Science News**

The Sun and Heliosphere in the Period of Maximal Activity (71). Birth of a Protoplanet (71). «Possibly Inhabited Zone in the Galaxy» (72). A Boiling Planet (72). A New Approach to Classification of Galaxies. (73). Heavy Showers on Mars? (73). Top Quark Became Heavier (74). Magneto-resistive Memory with Random Sampling (75). Organic Displays Are Promising (75). Has Human Brain Developed Due to Chewing Muscles Reduction? **Petrov P.N.** (76). Paradoxical Enlargement of Genetic Diversity of Colonizing Lizard Species. **Gilyarov A.M.** (76). When and from Where the First Australian Inhabitants Arrive? (77). Calayan Rail: A New Bird from Philippines (77). Nerve Affected by High Energy Particles (78). Non-equal Brood Sex Composition in Audouin Galls. **Opaev A.S.** (82). Repeating Seismic Events Are Common and Informative (78). Statistics of Causalities (79). Glaciers of South America Are Thawing (79). A New Method of Study of Antarctic Ice-floes (79). The Key to Weather Forecast — Wind over Sea (79). Unknown Bronze Age Culture (80).
In Brief (50, 61)

Book Reviews**81 Koryakin V.S.**
Wintering in Ledyanaya Gavan**84 New Books****86 Subject and Author's Index**
of «Priroda» Journal for 2004

Жить в гармонии со своими генами

В.С.Баранов, Е.В.Баранова

Вряд ли в наш просвещенный век компьютеров, Интернета, космических полетов и всеобщей глобализации найдется человек, который не слышал о полной расшифровке генома человека. Об этом мировая общественность была торжественно оповещена 22 апреля 2003 г., как раз в 50-летний юбилей знаменитой двойной спирали ДНК. Сам грандиозный международный проект, который представляла собой эта программа, и те события, та гонка, которую предложила Международному консорциуму преуспевающая частная фирма «Celera Genomics», заслуживают отдельного рассмотрения, далеко выходящего за рамки нашей темы.

Да, книга нашей наследственности прочитана почти полностью (98%) и почти точно (вероятность ошибки 10^{-6}). Что же такое «геном»? Что уже дало человечеству знакомство с энциклопедией собственной наследственности? И самое главное — что сулит человеку это запрограммированное и выстраданное тысячами ученых открытие? Обещает ли оно рай, т.е. избавление от болезней, долгую здоровую жизнь или, как в случае печально известной овечки Долли, оно только усугубит многие



Владислав Сергеевич Баранов, член-корреспондент РАМН, профессор, главный специалист города по медицинской генетике, заведующий лабораторией пренатальной диагностики наследственных и врожденных болезней Института акушерства и гинекологии им.Д.О.Отта РАМН. Автор более 300 работ по тератологии, эмбриологии, цитогенетике, генной терапии, молекулярной диагностике, предиктивной медицине, а также шести монографий. Область научных интересов — гены «предрасположенности» и предиктивная медицина; адресная доставка генных конструкций в клетки млекопитающих *in vivo* и *in vitro*; функциональная цитогенетика и генетика развития человека.



Елена Владиславовна Баранова, европейский эксперт в области «Генетика, биотехнология и естествознание для здравоохранения» («Genetics, Biotechnology and Life Sciences for Health») и президент Международной ассоциации по предиктивной медицине, лауреат различных международных премий и призов, включая первый приз за лучшую научную статью (Международный конгресс, Канада, 1998), а также титул «Женщина года» (Франция, 2003). Создатель первого во Франции Национального университетского диплома для врачей (2000) и организатор первого Международного конгресса для врачей по предиктивной медицине (Франция, 2001). С 2002 г. возглавляет сети консультаций (Париж и Клермон Ферран, Франция) и эксперт из (Швейцария, Испания и с 2004 г. Петербург, Россия — совместно с генетическим диагностическим центром профессора В.С.Баранова и «International Clinics») по предиктивной медицине и разработке практических рекомендаций.

© Баранов В.С., Баранова Е.В., 2004

уже существующие противоречия и проблемы нашей жизни? Рано или поздно любое большое открытие выходит за пределы академической науки. Становясь вполне самостоятельным, оно начинает активно вмешиваться в жизнь общества. Не станут ли уже в ближайшем будущем горячие головы, такие как те, кто сегодня грозит клонировать человека, на свой страх и риск торговать генами, манипулировать геномами и улучшать человеческую породу?

Попробуем разобраться в этом клубке противоречий, загадок и недомолвок, порожденных достижениями современной генетики. Вспомним, что каждое выдающееся открытие, каждый прорыв науки в бесконечность непознанного имеет две стороны. С одной стороны, оно приносит благо, с другой — таит скрытую опасность. Воистину, наши знания множат нашу скорбь! Атомная энергия, электричество, космонавтика тому яркие примеры. Нечто подобное происходит сегодня с геномом человека.

Итак, геном — это весь наследственный аппарат любого организма, в том числе и человека. Говоря биохимическим языком — это его ДНК, в форме непрерывной двойной спирали. Расфасованная в 46 хромосом, она присутствует в каждой клетке человека. Общая длина этой гигантской молекулы поражает — 1,7 м! Состоит она всего из четырех букв (нуклеотидов), число которых, как сейчас точно известно, составляет $3,1647 \cdot 10^9$. По объему такой текст соответствует примерно 200 томам знаменитой Британской энциклопедии! Суть программы «Геном человека» как раз и сводилась к прочтению этого текста, к расшифровке всей нуклеотидной последовательности ДНК человека. На это понадобилось в общей сложности более 10 лет! Зато теперь мы знаем, что у человека имеется около 31 тыс. генов. Примерно половина их (более 15 тыс.) уже

картирована на хромосомах, 2 тыс. идентифицированы (т.е. выяснена их точная молекулярная структура), а некоторые выделены в чистом виде. И это только первые шаги постгеномной эры! Геном декодирован, но он еще не прочитан! Многое в его первичной структуре остается загадочным и малопонятным. Например, только 3–5% всей гигантской цепочки ДНК выполняет кодирующие функции. А для чего нужна вся остальная молекула!?

Другая трудная проблема: генов много, а что они делают в организме, а точнее, каковы функции их продуктов, неизвестно. Отсюда логичное продолжение программы: развитие функциональной геномики — науки о взаимодействии генов и их продуктов в процессах индивидуального развития (онтогенеза) в норме и в патологии. Если генетика изучает отдельные гены и признаки, то пришедшая ей на смену геномика исследует структурно-функциональную организацию целого генома, т.е. весь наследственный аппарат клетки, ее ДНК.

Параллельно с геномом человека активно изучались геномы и других организмов, в том числе вирусов, бактерий, дрожжей, насекомых (дрозофил), червей, растений, рыб и млекопитающих (лабораторной мыши). Отсюда еще одно интересное направление постгеномной эры — сравнительная геномика и ее ответвления — палеогеномика и этногеномика. Первая изучает происхождение человека, а вторая — процессы этногенеза, т.е. происхождение наций и рас, их расселение по планете. Наконец, расшифровка генома человека привела к возникновению такого магистрального направления современной науки, как молекулярная медицина. В ее основе лежат представления о геноме человека, который отличается индивидуальностью (каждый человек имеет свой собственный, уникальный геном), и профилактическая на-

правленность (особенности генома каждого можно выяснить задолго до заболевания). Ниже мы вернемся к молекулярной медицине и рассмотрим ее более детально. Здесь же обратим внимание читателей на то новое, что уже привнесли исследования генома в современную медицину [1]:

- идентифицированы мутантные гены всех частых наследственных и многих ненаследственных (мультифакториальных) заболеваний, в возникновении которых повинны как неблагоприятные варианты генов (аллели), так и провоцирующие (повреждающие) факторы внешней среды;

- разработаны универсальные методы диагностики наследственных болезней;

- внедрены и получили широкое применение в криминалистике методы точной идентификации личности (методы геномной дактилоскопии);

- заложены основы и начаты широкомасштабные исследования по фармакогенетике (индивидуальной чувствительности к лекарствам) и фармакогеномике (разработке новых лекарств на основе функциональной геномики);

- разработаны научные основы и начаты клинические испытания по генной терапии наследственных и ненаследственных (онкологических, некоторых инфекционных) заболеваний;

- внедрены и продолжают активно разрабатываться методы тестирования наследственной предрасположенности, заложившие фундамент предиктивной (предсказательной) медицины.

Вот мы и подошли к самому главному — предиктивной медицине и ее практическому приложению — тестированию генов предрасположенности.

Что же такое предиктивная медицина? Это одно из направлений современной молекулярной медицины, которая изучает возможность прогнозирования

(предвидения) заболевания у человека на основе исследования индивидуальных особенностей его генома [2]. Возникла она существенно раньше, чем был расшифрован геном человека, еще в 1977 г. Термин «предиктивная медицина» предложил французский ученый лауреат Нобелевской премии Дж. Доссэ, внесший решающий вклад в открытие и изучение знаменитого локуса HLA — главного локуса антигенной гистосовместимости человека. По его меткому высказыванию: «На протяжении столетий медицина пыталась лечить болезни. Сейчас ее главная цель — предотвратить заболевания. Для этого необходимо научиться предсказывать их вероятность. Первый шаг в этом направлении уже сделан — предиктивная медицина родилась». При этом ученый имел в виду удивительные и до сих пор малопонятные ассоциации определенных вариантов (аллелей) генетического локуса HLA с некоторыми заболеваниями (сахарным диабетом, бронхиальной астмой и др.).

Сегодня, когда расшифрован весь геном, возможности исследовать генные ассоциации различных заболеваний сильно возросли. Важно отметить, что для каждого заболевания следует тестировать не все известные гены, а только те, которые контролируют продукты (белки, ферменты), непосредственно вовлеченные в тот или иной патологический процесс. Число таких генов даже в случае мультифакториальных заболеваний, к которым относятся все наиболее распространенные болезни (сердечно-сосудистые, онкологические, психические и др.), весьма ограничено. Наиболее обширная группа генов, так называемая генная сеть, определена для сердечно-сосудистых заболеваний — около 200 генов. Генные сети других болезней менее многочисленны и содержат около 40–50 генов.

Участие разных генов в развитии любой патологии далеко

не одинаково. Практически для каждой болезни можно выделить главные гены, продукты которых играют ключевую роль в инициации патологического процесса, и второстепенные, чьи продукты играют дополнительную роль. При этом, гены, критичные для одного заболевания, для другого могут оказаться менее важными.

Чем же объяснить, что продукты генов могут влиять и даже в определенных условиях провоцировать болезнь? Дело в том, что, как выяснилось в процессе расшифровки структуры генома, молекула ДНК каждого человека уникальна. В ней имеется множество различных вариантов нуклеотидных последовательностей, характерных именно для данного индивидуума. Они особенно многочисленны на уровне случайных замен единичных букв, нуклеотидов. В общей сложности таких замен (полиморфизмов) на весь геном насчитывается примерно 4 млн. Около 2.5 млн полиморфизмов приходится на смысловую, кодирующую часть генома. Нередко эти замены приводят к изменениям в структуре продуктов соответствующих генов; соответственно меняются и их функциональные свойства. Спектры генетических полиморфизмов зависят от географических условий, диеты, расовой (этнической) принадлежности и др. и возникают в результате естественного отбора. В определенных условиях они могут predispose к развитию специфических заболеваний или, напротив, препятствовать им.

Наличие у человека неблагоприятных вариантов генов, приводящих к появлению функционально ослабленных генопродуктов (белков, ферментов), в конечном счете и лежит в основе наследственной predisposition человека к тому или иному недугу. Каждый человек генетически неповторим и, соответственно, для каждого из нас характерен свой уникальный биохимический портрет,

который и предопределяет врожденную (наследственную) predisposition к тем или иным заболеваниям. Увы, как это ни пессимистично звучит, болезни выбирают нас еще до рождения!

Таким образом, гены predisposition — это варианты генов (аллели), совместимые с нормальным ходом онтогенеза, но на более поздних стадиях развития в неблагоприятных условиях они приводят к различным заболеваниям [3].

Изучение полиморфизмов генов predisposition и составляет основу предиктивной медицины. Тестируя полиморфизмы генов, выясняя сильные или слабые звенья своего генома, мы можем узнать, какая патология и с какой вероятностью ожидает нас в будущем. Чем детальней мы анализируем собственный геном, тем больше шансов найти в нем функционально ослабленные, мутантные гены, способные спровоцировать то или иное заболевание. Автор знаменитой двойной спирали ДНК лауреат Нобелевской премии Дж. Уотсон так образно выразил эту мысль: «Было принято считать, что наша судьба скрыта в наших звездах. Однако теперь мы точно знаем, что она записана в наших генах». Тестируя их, мы можем заглянуть в нашу судьбу, оценить слабые и сильные стороны своего генома и, соответственно, своего здоровья.

Однако пока генетическое тестирование позволяет только выявить имеющиеся в геноме тенденции к появлению патологии, повышенную чувствительность человека к тем или иным заболеваниям, но оно не ставит окончательный диагноз. Тем не менее на основе этой информации и современного врачебного опыта можно наметить пути ранней профилактики и с помощью коррекции ослабить неблагоприятные эффекты функционально неполноценных генов. Мы не можем исправлять наши гены, но мы уже в силах влиять

на их фенотипические проявления. Генетическое тестирование должно помочь человеку жить в гармонии со своими генами!

Недавно в зарубежной медицинской науке появилось направление «персонафицированная профилактика», представляющее собой, по сути, ту же предиктивную медицину. Основной упор, однако, в ней делается не на диагностику предрасположенности человека к тому или иному конкретному мультифакториальному заболеванию (для этого, как правило, еще недостаточно данных), а на выявление функционально неполноценных аллелей генов предрасположенности. По данным английских ученых, ослабление их неблагоприятного эффекта с помощью диеты, образа жизни, лекарственных и пищевых добавок позволяет человеку «выиграть» 14 лет активной полноценной жизни!

В настоящее время такое тестирование широко проводится во многих лабораториях и научных центрах мира. За рубежом организуются и уже активно работают многочисленные крупные коммерческие центры и фирмы типа «Myriad Genetics» (США), «Genosense Diagnostic» (Австрия), «Sciona» (Великобритания), «Gendia» (Бельгия). Однако стоимость такого анализа еще достаточно велика: определение состояния одного генного варианта от 150 до 300 евро. У нас стоимость такой процедуры всего 200—300 руб. В России тестирование генов предрасположенности начато в начале 90-х годов безвременно ушедшим из жизни профессором Е.И.Шварцем. В нашей лаборатории оно проводится с 1994 г. В настоящее время это направление уже достаточно широко представлено в Санкт-Петербурге, Москве, Уфе, Томске и в Новосибирске.

Как показали многочисленные исследования, к генам предрасположенности наиболее часто относятся гены, контролирурующие ферменты системы деток-

сикации, гены белков клеточных рецепторов и гены, играющие ключевую роль в различных жизненно важных метаболических циклах организма (так называемые гены метаболических «шунтов»).

В плане тестирования наследственной предрасположенности особенно большой опыт накоплен в отношении генов системы детоксикации (так называемых генов метаболизма), отвечающих за деградацию и выведение из организма всех инородных веществ (ксенобиотиков), включая лекарственные препараты, промышленные и другие вредности. Именно эти гены, точнее их полиморфные варианты, определяют индивидуальную реакцию организма на различные химические препараты и пищевые продукты. Генетические полиморфизмы, которые приводят к полному отсутствию соответствующего белка либо к появлению ферментов с измененной, как правило, более низкой, чем в норме, активностью, служат причиной выраженной индивидуальной чувствительности организма к лекарственным препаратам, промышленным и сельскохозяйственным ядам и пр.

Многочисленные эпидемиологические исследования указывают на то, что практически все широко распространенные болезни, включая почти 90% всех раков, в той или иной мере связаны с неблагоприятными внешними факторами, среди которых видное место принадлежит курению и продуктам питания. Различные химические токсины, воздействуя на организм, также могут провоцировать начало этих заболеваний. Гены метаболизма кодируют белки, по-разному нейтрализующие канцерогены. Поэтому в зависимости от особенностей генома различные индивидуумы или сохраняют устойчивость или, наоборот, обнаруживают повышенную чувствительность к повреждающим агентам. Функционально неполноценные варианты генов метаболизма обнаруживают четкую ассоциацию с бронхиальной астмой (рис.1), раком легких и мочевого пузыря, различными акушерскими и гинекологическими заболеваниями (эндометриозом, привычным невынашиванием, преэклампсией). В нашей лаборатории показано, что анализ таких генов еще до проявления симптомов заболевания позво-



Рис. 1. Сложная генная сеть атопической бронхиальной астмы, включающая гены метаболизма, частоты полиморфизмов которых изучены в нашей лаборатории.

ляет выявить в семьях высокого риска лиц с наследственной предрасположенностью к данной патологии и начать своевременную профилактику. Например, в случае эндометриоза результаты генетического тестирования могут помочь в прогнозе течения болезни и выработке тактики лечения [4].

Примером рецепторного гена может быть рецептор мужских половых гормонов — адрено-рецептор, ассоциированный с раком предстательной железы, или ген рецептора витамина D, обнаруживший четкую ассоциацию с таким частым заболеванием, как остеопороз (быстрая потеря минеральной плотности кости). Молекулярно-генетическое исследование этого заболевания, проведенное в нашей лаборатории, позволило разработать и внедрить в практику схему обследования для раннего обнаружения лиц с наследственной предрасположенностью. Сравнивая частоту полиморфных аллелей и соответствующих им генотипов по генам остеопороза у больных в популяции северо-западной части России, мы показали достоверную ассоциацию функциональной неполноценности двух генов (гена рецептора витамина D и гена коллагена) с развитием болезни. Изученные нами гены непосредственно вовлечены в процессы остеогенеза, хотя механизмы их действия различны (рис.2). Рецептор витамина D влияет на гормональную регуляцию остеогенеза, а сам коллаген — важная составная часть костной ткани. Согласно нашим данным, анализ аллелей этих двух генов способствует выявлению предрасположенности к остеопорозу и соответственно делает возможной раннюю профилактику [5].

Типичным примером гена предрасположенности третьей группы (генов-«шунтов») может служить ген фермента, отвечающего за превращение в организме фолиевой кислоты, крайне важной для метаболизма ряда аминокислот и ДНК. Функцио-



Рис.2. Гены и их белковые продукты, участвующие в метаболизме костной ткани.

нально неполноценные варианты этого гена ассоциированы с сердечно-сосудистыми заболеваниями, нарушениями развития мозга у плода и даже с болезнью Дауна, вызванной наличием лишней маленькой хромосомы.

Список болезней с наследственной предрасположенностью, для которых уже реально генетическое тестирование в России, включает более 25 наименований, в том числе ишемическую болезнь сердца, сахарный диабет, гипертонию, рак молочной железы, легкого и предстательной железы, болезнь Альцгеймера, наркоманию, бронхиальную астму, остеопороз, парадонтоз и некоторые другие.

Многолетние исследования в нашей лаборатории по изучению генетических полиморфизмов позволили сформулировать представление о генетическом паспорте как об индивидуальной базе ДНК-данных, отражающей уникальные генетические особенности каждого человека, его предрасположенность к тем или иным наследственным, мультифакториальным и другим заболеваниям [6—8]. Один из вариантов такого генетического паспорта разработан нами специально для молодых супругов, планирующих ребенка (рис.3).

Согласно этой карте, оба супруга после генетического консультирования должны сделать анализ своих кариотипов (наборов хромосом), пройти тестирование на носительство мутаций наиболее частых генных болезней, таких как муковисцидоз, фенилкетонурия, гемофилия, миодистрофия Дюшенна, некоторые другие. Наконец, женщине предлагается также анализ состояния генов предрасположенности, ассоциированных с частыми осложнениями при беременности. Естественно, что медицинская значимость такой карты во многом определяется квалификацией специалиста, оценивающего результаты предиктивного тестирования.

К сожалению, именно эта сторона предиктивной медицины до сих пор остается наименее разработанной. В значительной мере это определяется тем, что предиктивное тестирование носит чисто вероятностный характер. Сегодня оно не дает однозначных прогнозов. Наличие одного или нескольких функционально неполноценных аллелей еще не доказывает, что человек обязательно заболит именно той болезнью, гены которой тестируются. К сожалению, в мировой медицине пока



Рис.3. Вариант генетической карты репродуктивного здоровья.

явно недостаточно информации, позволяющей делать подобные заключения.

Для решения этой сложной проблемы начаты широкомасштабные популяционные исследования по тестированию всех возможных генов предрасположенности у населения Исландии (300 тыс. человек) и Эстонии. В банк данных будут занесены и результаты генетического тестирования 500 тыс. британцев. При этом планируется, что каждый из них будет находиться под медицинским наблюдением практически до самой смерти. Только после этого результаты проведенного генетического тестирования будут раскрыты и сопоставлены с данными конкретной медицинской карты.

Согласно обобщенному мировому опыту предиктивной медицины, сначала рекомендуется проводить массовые исследования по сравнению частот функционально неблагоприятных вариантов (аллелей) в целой популяции и у больных с той или

иной патологией. Когда будет установлена четкая ассоциация неблагоприятного аллеля с заболеванием, на втором этапе проводят предиктивное генетическое тестирование в семьях высокого риска, где уже есть подобные больные. Наконец, на третьем этапе, при наличии убедительных данных о четкой ассоциации ген—болезнь, можно выявлять индивидуальную предрасположенность к данному заболеванию. К сожалению, подавляющее большинство уже предлагаемых генетических тестов все еще находится на первом уровне. Их сравнительно немного на втором и практически нет на третьем уровне. Считается, что потребуется еще не менее 10—15 лет, прежде чем генетическое тестирование наследственной предрасположенности достигнет третьего уровня и найдет широкое практическое применение.

Таким образом, строго говоря, предиктивная медицина все еще находится в начале своего

длинного, хотя и столь заманчивого пути. Означает ли это, что нужно просто ждать еще 10 лет, пока будет накоплен необходимый опыт? Конечно, нет. Исследования по предиктивному генетическому тестированию должны продолжаться для уточнения генных сетей мультифакториальных и полигенных заболеваний, поиска главных генов, функционально неполноценные варианты которых запускают патологический процесс.

Сейчас, когда стало ясно, что каждый из нас «заложник» собственного генома, в самый раз подумать о том, как заставить его работать на наше здоровье. До расшифровки генома мы ничего не знали об его индивидуальных особенностях и в игру под названием «жизнь» играли вслепую. Генетическое тестирование позволяет заглянуть нам в наши наследственные задатки и сделать эту игру более осмысленной. Один из реальных подходов, позволяющих человеку уже сегодня начать жить в гармонии со своими генами, — упоминавшаяся «персонализированная профилактика», направленная на коррекцию функционально неполноценных аллелей генов предрасположенности.

К сожалению, на этом пути имеются серьезные трудности не только медицинского, но и социального плана. Возникает много морально-этических и юридических вопросов. Когда, в каком возрасте следует проводить генетическое тестирование? Кто может иметь доступ к его результатам? Могут, должны ли знать о результатах тестирования близкие родственники? Как и где будут храниться результаты? Все эти сложные вопросы активно обсуждаются и дискутируются на самых разных уровнях. Для выработки наиболее взвешенных решений созданы специальные комиссии, включающие ведущих генетиков. В частности, согласно рекомендациям комиссии Европейского общества по генетике человека (2000, 2003) генетиче-

ское тестирование должно быть сугубо добровольным, проводиться только при наличии информированного согласия и быть строго конфиденциальным. К результатам тестирования с согласия пациента может иметь доступ только семейный врач или специалист по интерпретации полученных результатов. Они никак не могут и не должны стать достоянием страховых компаний или работодателей.

Вместе с тем, учитывая нарастающий интерес к индивидуальной генетической предрасположенности и, по сути, неотвратимость массового тестирования, многие ученые высказывают вполне обоснованные опасения о неподготовленности общества в целом, его правовых и юридических служб к решению возникающих проблем. Лауреат Нобелевской премии сэра Поль Нёрс обеспокоен тем, что с наступлением эры персонализированной медицины и превентивного лечения, когда ребенок уже при рождении будет получать генетический паспорт, вполне реальным может стать и «генетический апартеид», т.е. дискриминация челове-

ка по его генетическим признакам. Чтобы предотвратить это генетическое неравенство, законодательство должно идти в ногу с передовыми технологиями. Только в этом случае можно создать общество, где все будут равны в правах, независимо от состояния генома, где будут устранены все возможности генетической дискриминации.

Итак, эра торжества предиктивной медицины, основанной на генетическом тестировании индивидуальных геномов, неизбежна. Но к ней надо серьезно готовиться не только здравоохранению, но и всему обществу, его многочисленным институтам. Уже сегодня генетическое тестирование заслуживает самого пристального внимания и поддержки не только ученых, медиков, но и ответственных лиц государства. Пока оно носит сугубо вероятностный характер и позволяет получить лишь весьма ограниченную информацию о прогнозе будущих болезней. Но мы уже можем активно выявлять многочисленные функционально неблагоприятные варианты генов, играющих важную роль в ряде онкологических, психических и

многих других заболеваний. Известно и уже активно входит в медицинскую практику тестирование генов метаболизма, определяющих особенности индивидуальной чувствительности к лекарственной терапии (фармакогенетика). Достаточно хорошо разработаны и пути, позволяющие полностью устранить или, по крайней мере, свести к минимуму неблагоприятный эффект многих функционально неполноценных генов. Конечно, получение генетического паспорта сопряжено со значительными материальными затратами. Однако быстрое развитие новых методов и технологий, в том числе микрочипов, позволяет надеяться на удешевление таких процедур уже в недалеком будущем. Переход от диагностики к прогнозированию болезни (через тестирование), а от них к предупреждению (комплексу лечебно-профилактических мер) и лечению (строго индивидуальной фармакотерапии) — вот вполне обозримые горизонты предиктивной медицины. Главная цель предиктивной медицины сегодня — научить человека жить в гармонии со своими генами! ■

Литература

1. Баранов В.С. // Мол. биол. 2004. Т.38. №1. С.1—7.
2. Баранов В.С. // Экологическая генетика. 2004. №1. С.22—29.
3. Баранов В.С., Баранова Е.В., Иващенко Т.Э., Асеев М.В. Геном человека и гены «предрасположенности» (Введение в предиктивную медицину). СПб., 2000.
4. Баранов В.С., Иващенко Т.Э., Швед Н.Ю., Крамарева Н.Л., Асеев М.В. Генетические аспекты профилактики и лечения эндометриоза: Пособие для врачей. СПб., 2004.
5. Москаленко М.В., Асеев М.В., Зазерская И.Е., Кузнецова Л.В., Баранов В.С. // Молекулярно-биологические технологии в медицинской практике. Вып.4. Новосибирск, 2003. С.120—133.
6. Баранов В.С., Асеев М.В., Баранова Е.В. Гены предрасположенности и генетический паспорт // Природа. 1999. №3. С.17—27.
7. Иващенко Т.Э., Стрекалов Д.Л., Соловьева Д.В., Асеев М.В., Баранов В.С., Хавинсон В.Х. Определение генетической предрасположенности к некоторым мультифакториальным заболеваниям. Генетический паспорт: Методические рекомендации. СПб., 2001.
8. Хуснутдинова Э.К., Боринская С.А. Геномная медицина — медицина XXI века // Природа. 2002. №12. С.3—8.

Преобразование вендских толщ и проблема чистых образцов

М.Б.Бурзин, В.И.Виноградов

Одна из проблем, с которой сталкиваются все исследователи геологического прошлого Земли, — проблема чистоты отбираемого в полевых условиях материала. Палинологи и микропалеонтологи при работе на обнажениях углубляются на десятки сантиметров или даже на метр, расчищая рыхлые, трещиноватые и выветренные породы не только для того, чтобы избавиться от современных засорений, но и для того, чтобы получить образцы, не испытавшие окисления. Как же надо отбирать пробы для изучения остатков ископаемых бактерий [1] или экстрагирования из пород хемофоссилий — органических соединений, позволяющих выявить биомаркеры [2], которые свидетельствуют о существовании представителей определенных систематических групп организмов или физиологических процессов? Ответ на этот вопрос дают изотопно-геохимические исследования Rb-Sr методом глинистых минералов верхневендских отложений Русской плиты.

Часто ни макроскопический осмотр образцов, ни изучение шлифов не позволяют установить, испытали ли горные породы вторичные изменения или



Михаил Борисович Бурзин, научный сотрудник лаборатории докембрийских организмов Палеонтологического института РАН. Области научных интересов — палеонтология докембрия, стратиграфия венда Русской плиты. Первым обнаружил ископаемые остатки древнейших водных грибов и нитчатых серных бактерий в верхневендских отложениях Русской плиты. Соавтор стратиграфической схемы вендских отложений Московской синеклизы. Постоянный автор «Природы».



Владимир Иванович Виноградов, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории геохимии и геохронологии изотопов Геологического института РАН. Области научных интересов — геохимия изотопов, эпигенез осадочных пород, геохимические и биосферные циклы элементов, проблемы формирования континентальной коры. Первым установил участие серы осадочного цикла в вулканических, магматических и рудообразующих процессах.

сохранились практически неизменными. В осадочных породах, особенно в наиболее химически реакционных глинистых и карбонатных, происходят процессы вторичного преоб-

ращения вещества, которые обычно называются общим термином эпигенез. Они могут быть как медленными в масштабах геологического времени, так и внезапными. Минераль-

ное или химическое преобразование пород сопровождается перестройкой изотопных систем. При активных и кратковременных событиях, связанных с геохимическим изменением вещества, «изотопные часы» каждый раз устанавливаются на нулевую отметку.

Наш (и многих других исследователей) интерес к вендскому периоду в истории Земли (согласно современной геохронологии [3], возрастные рамки венда — 535–600 млн лет) вызван тем, что это — время перехода от докембрийского квазистабильного состояния биосферы к динамичному развитию фанерозойской биосферы, в которой биоразнообразие существенно возросло. С вендом (а также с более древними рифейскими отложениями) связывают перспективы открытия залежей углеводородов в центральных районах Русской плиты. В породах венда продолжается поиск молекулярных свидетельств жизнедеятельности одноклеточных и бесскелетных организмов, плохо представленных в ископаемой летописи.

На Русской плите развиты мощные, хорошо изученные и стратифицированные осадочные толщи вендских отложений, большая часть которых располагается на глубинах 1–3 км. Их выходы на поверхность фиксируются на восточных берегах Белого и Балтийского морей, западном склоне Среднего Урала и в долине р.Днестр на Украине. Вендские осадочные породы выглядят на удивление свежими. Поэтому мы провели тщательное изотопно-геохимическое изучение вендских глинистых пород, чтобы выявить наименее измененные части разреза, пригодные для дальнейших детальных исследований. Прежде чем приступить к изложению наших результатов, дадим общую геологическую характеристику венда Русской плиты, поскольку не все знакомы с этим интереснейшим объектом.

Венд Русской плиты

Вендские отложения на Русской плите образуют нижнюю часть осадочного чехла, занимая от одной десятой до более двух третей его мощности. Они залегают на породах кристаллического фундамента, а над авлакогенами перекрывают осадочные породы рифейского возраста.

Отложения нижнего венда развиты локально на западном и восточном краях платформы и над некоторыми грабенами. Они представлены [4] ледниковыми, вулканогенно-осадочными и морскими осадочными толщами.

Верхний венд образует осадочный чехол мощностью от 100 м (на северо-западе и западе плиты) до 1200 м (на северо-востоке и востоке). Выделены [4] три горизонта (региональных яруса) верхнего венда: редкинский, котлинский и ровенский. (Согласно решениям Межведомственной стратиграфической комиссии России, ровенский горизонт относится к венду, а в соответствии с Международной стратиграфической шкалой, возможно, — к кембрию.)

Верхний венд начинают с грубых, иногда плохо сортированных, отложений, которые рассматривают как продукты выравнивания предверхневендского рельефа непосредственно перед началом редкинской морской трансгрессии [4]. Именно в этих отложениях, в области их развития над Даниловским грабеном, в Московской синеклизе встречены нефтепроявления [5, 6].

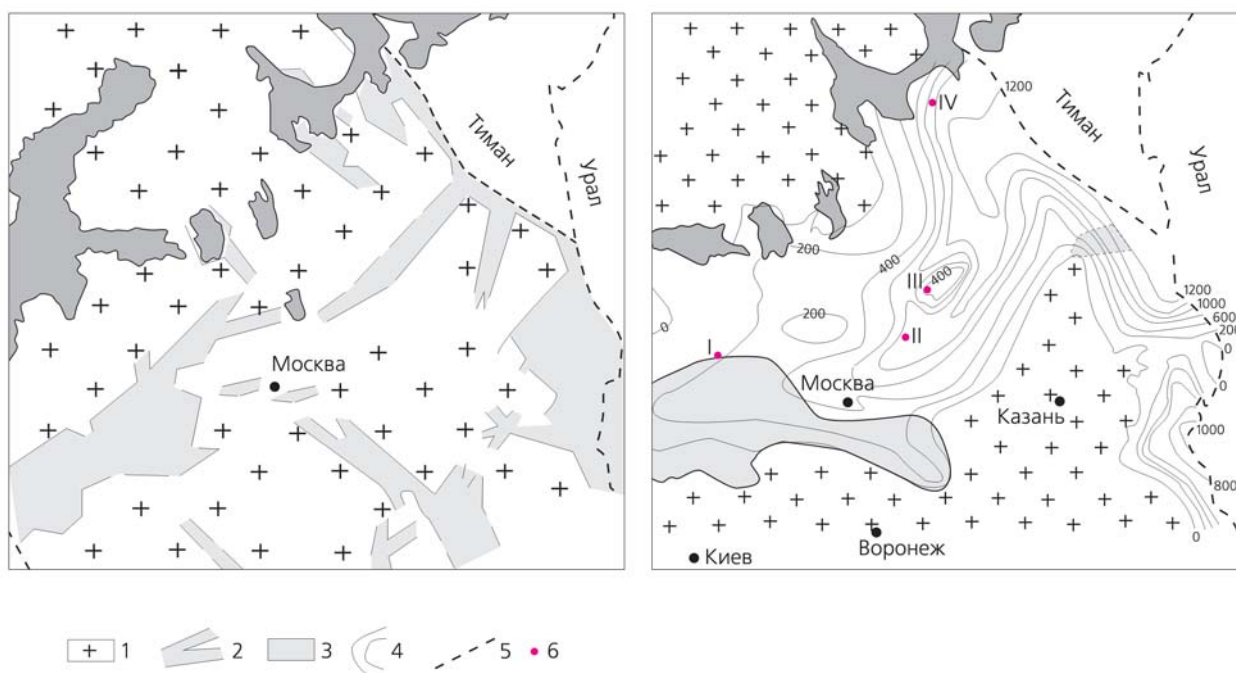
Вендские отложения Русской плиты воздымались и были частично срезаны эрозией в предсреднекембрийское время. Наиболее же сильно эрозия проявилась в предсреднедевонское время, когда произошла перестройка структурного плана всей платформы и на значительной площади плиты частично или полностью были срезаны вендские и нижнепалеозойские отложения. В ряде скважин из узких поднятий над Солигалич-

ским и Рослятинским грабенами Средне-Русского авлакогена средний девон лежит прямо на редкинских отложениях или даже на их нижней части. Образование поднятий связывают с инверсионными тектоническими движениями в герцинское время. На краях же грабенов и вне их — в пределах Галичской впадины и Грязовецко-Тарногского прогиба — разрез верхнего венда и нижнего палеозоя полностью сохраняется. В северной части Мезенской синеклизы девонские отложения отсутствуют, венд перекрыт каменноугольными отложениями, а на погруженном борту Балтийского щита — четвертичными.

Чем определялся выбор материала

Отложения верхнего венда Русской плиты выбраны для изотопных исследований эпигенетических преобразований горных пород потому, что они слабо затронуты катагенетическими преобразованиями. Глины из скважин с глубин от нескольких сотен метров и до нескольких километров размокают в воде, и из них только с помощью дистиллированной воды прекрасно выделяются органикостенные микрофоссилии, остатки макроскопических водорослей. Такой материал наиболее подходит для биохимических исследований ископаемого органического вещества. Кроме того, вендские толщи подробно стратифицированы [7] и детально исследованы.

Для изотопно-геохимического изучения отобраны образцы из коллекции М.Б.Бурзина наиболее тонких глинистых пород из наиболее стратиграфически важных скважин. Так, Невельская опорная скважина №1-Р (запад Русской плиты, зона перехода от Валдайской моноклинали Московской синеклизы к Латвийской седловине) в 1962 г. была выбрана в качестве типовой для валдайского комплекса — исторического предшест-



Структуры Восточно-Европейской платформы: слева — рифейские, справа — вендские [4].
 1 — кристаллические щиты и массивы, 2 — рифейские авлакогены и грабены, 3 — отложения нижнего венда, 4 — изопохиты верхневендских отложений, 5 — границы платформы; 6 — скважины: I — Невель, II — Гаврилов-Ям, III — Солигалич, IV — Кепина.

венника вендской системы. Скважины Гаврилов-Ямского полигона (Галичская впадина в центральной части Московской синеклизы, примерно в 100 км к югу от рифейского Даниловского грабена Средне-Русского авлакогена) и Солигаличская нефтеразведочная опорная скважина №Р-1 (северо-восток Московской синеклизы, над рифейским Солигаличским грабеном) являлись опорными при создании стратиграфической схемы вендских отложений Московской синеклизы [7]. Скважина Кепина №775 (зона перехода от Мезенской синеклизы к погруженному восточному склону Балтийского щита, над Товским выступом фундамента, разделяющим рифейские Керецко-Среднепинежский и Тучкинский грабены) служила опорной при составлении проекта новой стратиграфической схемы вендских отложений Мезенской синеклизы [8].

Выбранные скважины характеризуют разные тектонические

зоны Русской плиты, различные типы разрезов венда и имеют неодинаковую стратиграфическую полноту.

Rb-Sr изотопно-геохимический метод

Этот метод был основным в наших исследованиях. Рубидий — щелочной металл I группы периодической системы элементов. Один из его изотопов — ^{87}Rb — радиоактивен: теряя β -частицу, он переходит в ^{87}Sr . Постоянная радиоактивного распада очень мала, так что за все время существования нашей планеты распалось только около 5% исходного количества ^{87}Rb . Тем не менее современные аналитические методы позволяют точно измерять количество накопленного в породах продукта радиоактивного распада (^{87}Sr) и рассчитать время, за которое он накопился [9]. Реально измеряются не абсолютные содержа-

ния изотопов рубидия и стронция, а их изотопные отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. При этом ^{86}Sr — стабильный изотоп, содержание которого остается постоянным со времени окончания процессов нуклеосинтеза и формирования планеты. В изотопном составе стронция протопланетного вещества сохранилось некоторое количество и ^{87}Sr , что учитывается при расчетах возраста земных объектов. Если бы на Земле не происходило геохимических процессов миграции атомов, то (наряду со многими другими бедями) Rb-Sr системы в каждом образце содержали бы информацию о времени образования планеты. По счастью (по крайней мере, так кажется многим), на Земле изменяется и обменивается веществом с окружающей средой не только живая, органическая материя, но и косная, каменная. Некоторые геохимические процессы, с участием в том числе и элементов II, щелочно-

земельной, группы (к которой относится Sr), приводят к выравниванию в минералах, слагающих горные породы, изотопного отношения стронция. И Rb-Sr часы устанавливаются на новую нулевую отметку. Указанием на предысторию вещества после «перезагрузки» радиометрических часов служит только величина рассчитанного отношения $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$, которая возрастает с каждым новым циклом геохимического преобразования.

Для того чтобы найти две неизвестные величины — время и начальное изотопное отношение стронция — нужна система из двух уравнений, т.е. изотопный анализ по крайней мере двух образцов с одинаковыми искомыми величинами. Но для того, чтобы увериться в этой одинаковости, число измеряемых образцов должно быть значительно больше, и чем оно больше, тем достовернее получаемые результаты. Обычно аналитические данные наносятся на график, где по горизонтальной оси располагаются отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, а по вертикальной — $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Каждый измеренный образец на таком графике представлен точкой. Образцы, которые имеют одинаковый возраст и начальное изотопное отношение, оказываются на одной прямой линии — изохроне. Угол ее наклона есть функция возраста, а ее пересечение с ординатой определяет величину начального отношения. Разработаны специальные приемы расчета точности аппроксимации экспериментальных точек прямой линией. Чем разброс точек относительно прямой меньше, тем надежнее полученные результаты.

По своей природе осадочные породы мало пригодны для изотопного датирования, так как представляют собой механическую смесь продуктов размыва и перетолжения самого различного материала плюс новообразованные минералы, из-за чего важнейшие исходные посылки — разновозрастность слагающих частиц и равенство началь-

ного изотопного отношения стронция — не выдерживаются. Однако метод пригоден для датировки событий геохимического преобразования минералов и пород, при которых происходило выравнивание изотопного отношения стронция.

Наши результаты

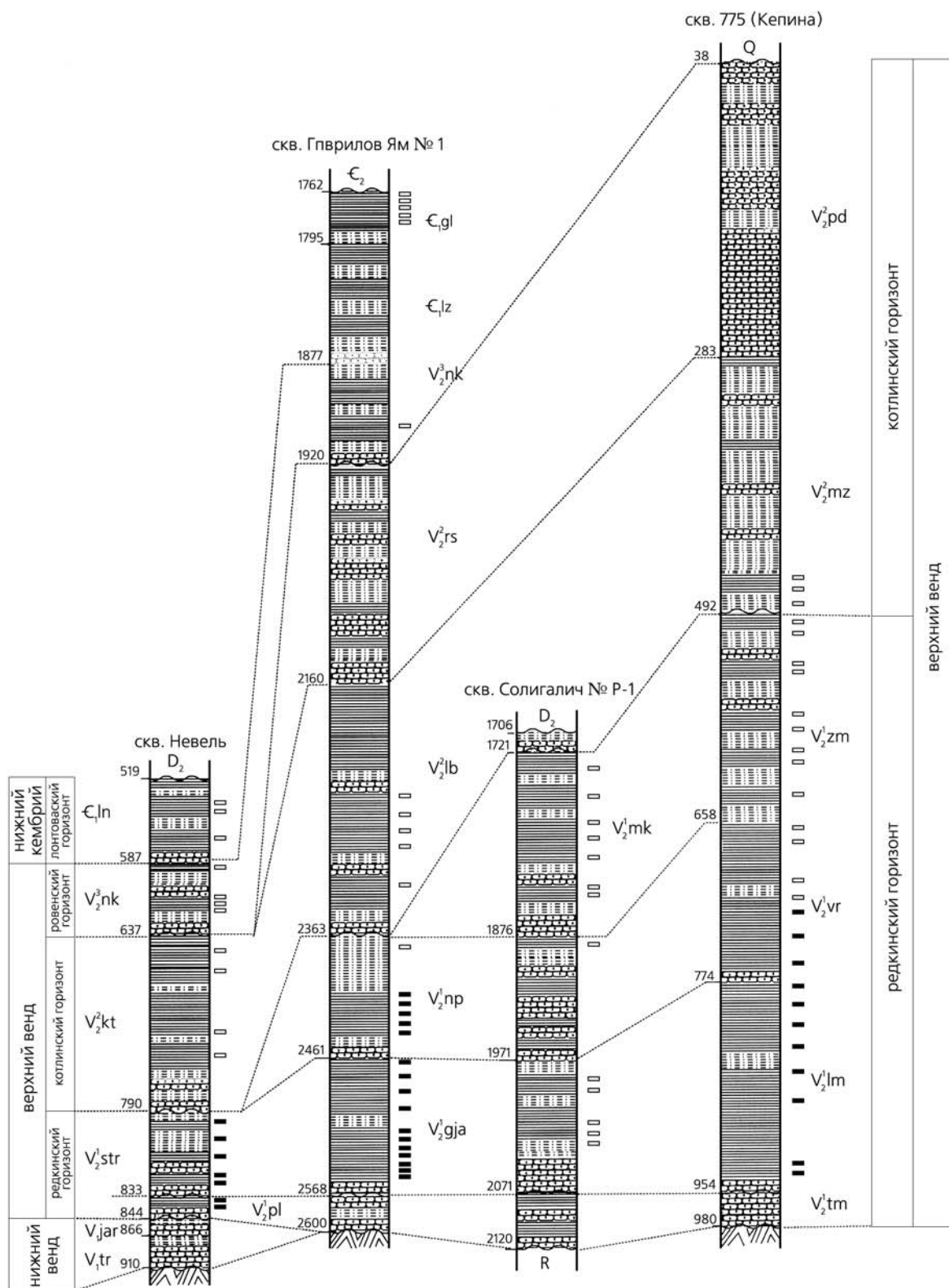
По изотопно-возрастным Rb-Sr датировкам разрезы практически всех изученных нами скважин четко разделяются на две части [10–12]. Так, в Гаврилов-Ямских скважинах глинистые минералы из монотонных аргиллитов гаврилов-ямской свиты и нижней подсвиты непейцинской свиты редкинского горизонта имеют «древний» (близкий к стратиграфическому) изотопный возраст 600 ± 50 млн лет. По видимому, с этим периодом связан один из первых этапов минеральных преобразований осадочной породы. Проведенные измерения изотопного возраста тонких (<1 мкм) и грубых фракций показали, что все линии на графике (валовая проба, тонкая и грубая фракции) практически параллельны, т.е. определяют один и тот же близкий возраст при разных первичных изотопных соотношениях. Это подтверждает реальность рассчитанного возраста — то, что он действительно отвечает некоторому событию в «жизни» пород.

Измерения образцов аргиллитов, развитых в толщах переслаивания верхней подсвиты непейцинской свиты редкинского горизонта, любимской свиты котлинского горизонта, некрассовской свиты ровенского горизонта верхнего венда и галичской свиты лонтоваского горизонта нижнего кембрия, продемонстрировали различный наклон линий на изохронном графике для валовых проб и размерных фракций глинистых пород. Но статистический анализ показал, что эти различия не значимы, и общий разброс точек, видимо, отражает продол-

жительность события. С некоторой долей условности время преобразования верхней части разреза можно оценить в 400 ± 50 млн лет (т.е. это ранний девон).

Таким образом, породы верхней части разреза Гаврилов-Ямских скважин сильнее изменены, чем нижней. Они пережили этап девонского эпигенеза, который не обнаружен в Rb-Sr системах осадков с глубин более 2410 м. Обычно степень изменения пород возрастает с глубиной, здесь же все наоборот. Поэтому могут возникнуть сомнения в правомерности интерпретации изотопных данных. Линейное расположение точек на изохронном графике можно рассматривать, вообще говоря, не как отражение возраста события, а как результат смешения минеральных компонентов осадка. Но каждый из них характеризуется своим временем образования (закрытия Rb-Sr системы) и своим начальным изотопным составом стронция. На изохронном графике такие компоненты лежат на разных концах аппроксимирующей прямой. Если время закрытия системы и начальное отношение $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ смешиваемых минеральных компонент совпадают, то прямая называется изохроной или эрохроной. На изохроне образующие ее точки находятся в пределах аналитических ошибок, разброс точек на эрохроне превышает их. И в том и в другом случае наклон линии отвечает возрасту некоего события. Если же время закрытия системы и начальное отношение изотопов стронция смешиваемых компонент не совпадает, прямая называется псевдохроной, а рассчитанный по ее наклону возраст будет фиктивным.

В нашем материале такими конечными компонентами смеси могли бы быть аутигенный (образованный на месте) иллит и обломочный полевоид шпат. Присутствие этих минералов (в осадке глинистой размерности) четко фиксируется на рентгенограммах, но происхождение



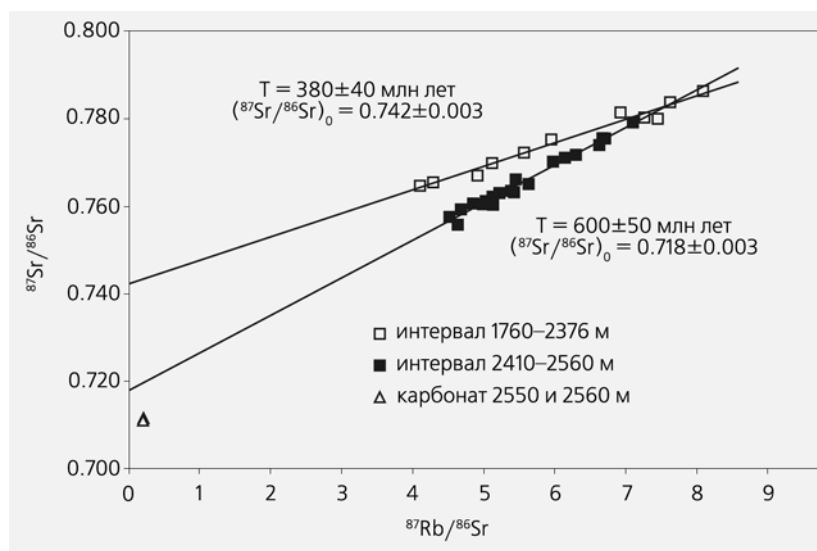
- Песчаники и толщи переслаивания с преобладанием песчаников
- Алевролиты и толщи переслаивания с преобладанием алевролитов
- Аргиллиты и толщи переслаивания с преобладанием аргиллитов
- Породы кристаллического фундамента

- Пробы:
- «древние»
- «молодые»

полевого шпата — образован ли он на месте или принесен извне — установить трудно. Однако получение практически параллельных линий по фракциям и валовым пробам глинистых пород снимает вопрос о смешении разновозрастных минералов. Кроме того, следует учитывать и то, что точки, образующие «молодую» линию, получены с проб, взятых с большого интервала глубин. Кажется совершенно невероятным присутствие аутигенной и аллотигенной (принесенной извне) идентичных по Rb-Sr характеристике минеральных фаз в 650-метровой толще платформенных осадков. Поэтому мы полагаем, что время около 400 млн лет действительно отражает реальный этап преобразования пород верхнего венда. Он отвечает важнейшему в геологической истории планеты герцинскому этапу орогенеза.

В разрезе скважины Невель глинистые минералы старорусской свиты редкинского горизонта имеют относительно низкие Rb-Sr отношения, точки которых занимают на изохронном графике положение вблизи эрохроны «древних» гаврилов-ямских проб. Глинистые минералы же котлинской (василеостровской) свиты котлинского горизонта, некрасовской свиты ровенского горизонта верхнего венда и лонтоваской свиты нижнего кембрия характеризуются более высокими Rb-Sr отношениями, точки их на изохронном графике близки к линии «молых» гаврилов-ямских проб.

В разрезе скважины №775 (Кепина) глинистые минералы лямицкой свиты и низов верховской свиты (ниже двух пачек



Изохронный график гаврилов-ямских проб верхнего венда, объединяющий точки с двух интервалов опробования.

туффов, содержащих II пелловый горизонт, разделенных слоями карбонатизированных алевролитов и песчаников) имеют относительно низкие Rb-Sr отношения, точки которых четко располагаются на изохронном графике вдоль эрохроны «древних» гаврилов-ямских проб. Глинистые минералы верхней части верховской свиты и зимнегорской свиты редкинского горизонта и низов мезенской свиты котлинского горизонта верхнего венда характеризуются более высокими Rb-Sr отношениями, и точки на изохронном графике располагаются ближе к эрохроме «молых» гаврилов-ямских проб.

А вот практически по всему изученному разрезу скважины Солигалич глины имеют Rb-Sr изотопно-возрастные датировки,

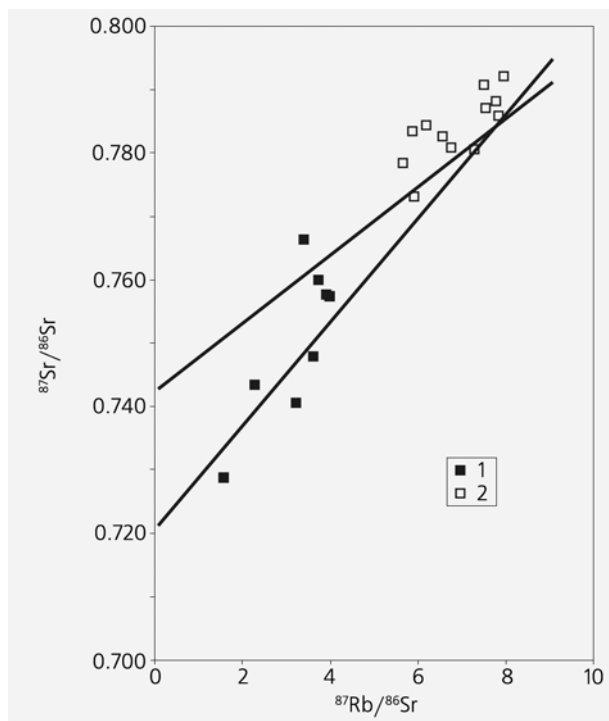
тяготеющие к эрохроме «молых» гаврилов-ямских проб. Выявить же здесь породы верхнего венда с достоверно «древними» датировками нам не удалось.

Что это значит?

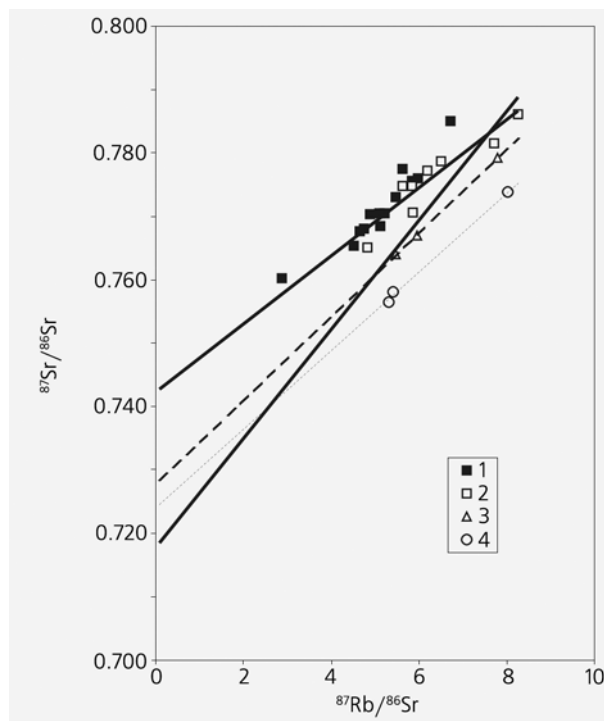
В результате изотопно-геохимических исследований глинистых минералов в разрезе Гаврилов-Ямских скважин выявлены раннедевонские геохимические преобразования древних толщ [10–12], которые затронули отложения лонтоваского горизонта нижнего кембрия, ровенского, котлинского и самой верхней части редкинских горизонтов верхнего венда, а именно верхней подсвиты непейцинской свиты. Не затронутые преобразованиями отложения нижней



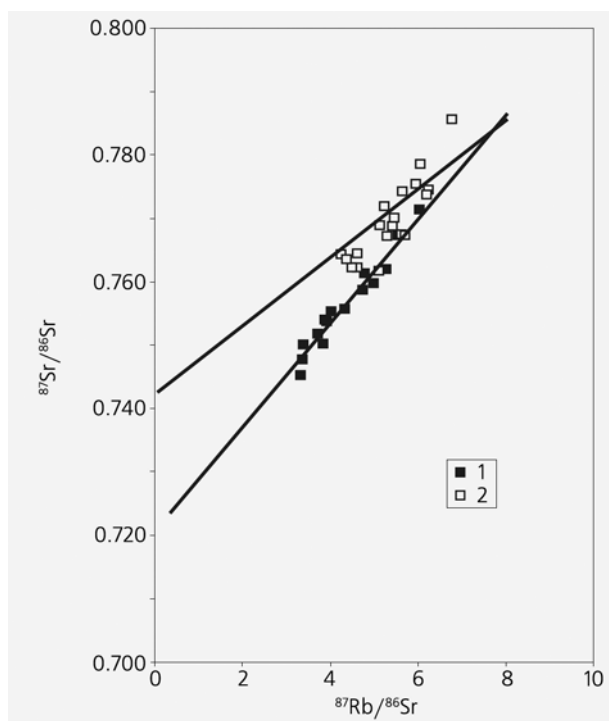
Схема сопоставления разрезов изученных скважин. Разрезы выровнены по подошве отложений редкинкой морской трансгрессии. Стратоны: R — рифей, V₁ — нижний венд, V₂ — верхний венд, V₂¹ — редкинский горизонт, V₂² — котлинский горизонт, V₃ — ровенский горизонт, €₁ — нижний кембрий; свиты: V₂tr — торопецкая, V₂jar — ярцевская, V₂pl — плетневская, V₂str — старорусская, V₂kt — котлинская (василеостровская), V₂nk — некрасовская, €₁ln — лонтоваская, V₂gja — гаврилов-ямская, V₂nr — непейцинская, V₂mk — макарьевская, V₂lb — любимская, V₂rš — решминская, €₁lz — лежская, €₁gl — галичская, V₂tm — тамецкая, V₂lm — лямицкая, V₂vr — верховская, V₂zm — зимнегорская, V₂mz — мезенская, V₂pd — падунская; перекрывающие отложения: €₂ — средний кембрий, D₂ — средний девон, Q — четвертичные отложения.



Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Невель: пробы с глубины более 800 м (1) и с глубины менее 765 м (2). Сплошные линии (здесь и далее) — эрохронная зависимость, полученная по материалам Гаврилов-Ямских скважин.



Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Солигалич: валовые пробы (1); размерные фракции и валовые пробы образцов 4925 и 4923 (2); образца 4926 (3); образца 4927 (4). Пунктирные линии аппроксимируют точки размерных фракций и валовых проб образцов.



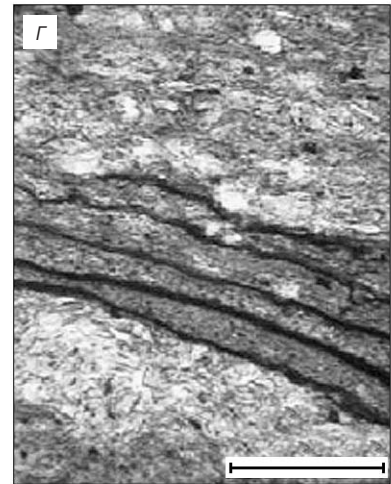
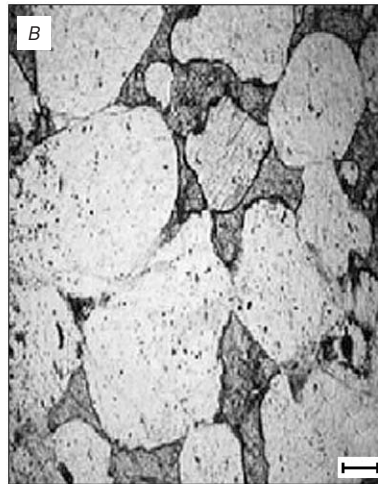
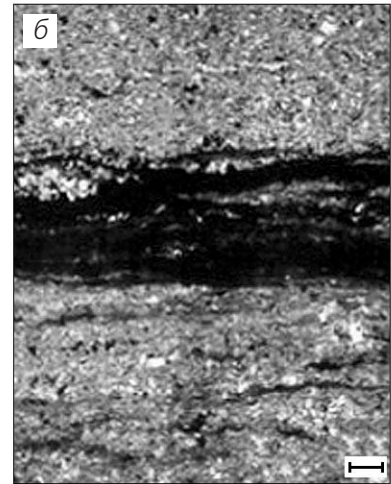
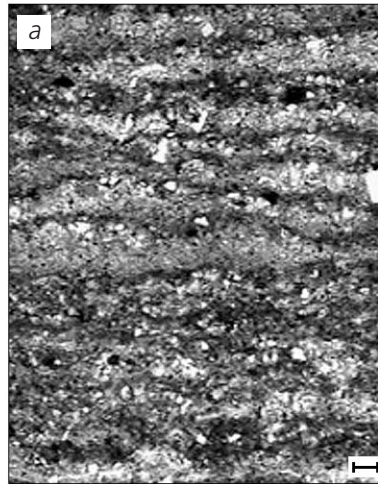
Положение на изохронном графике проб из отложений верхнего венда, вскрытых скважиной Кепина: пробы с глубины более 740 м (1) и с глубины менее 740 м (2).

части редкинского горизонта сложены преимущественно глинистыми отложениями, в составе которых присутствуют монтмориллонит и смешаннослойные минералы [13]. Эти породы служат прекрасным региональным водоупором. Верхняя же подсвита непейцинской свиты сложена аргиллитами и алевролитами, а на этом же уровне в скважине Переславль-Залесский развиты мощные слои песчаников. Все это может свидетельствовать о том, что геохимические преобразования в раннем девоне скорее всего происходили под действием подземных вод, проникавших на глубину по проницаемым пластам.

Такое заключение хорошо подтверждается и результатами изотопно-геохимических исследований разрезов скважин Невель и №775 (Кепина). В скважине Невель неизменными также оказались глинистые отложения старорусской свиты (стратиграфического аналога гаврилов-ямской и, возможно, непейцинской свит). Удивительно, что котлинская свита, представленная преимущественно ленточными глинами, не стала препятствием для проникновения подземных вод. Возможно, последние попадали на глубину по пластам песчаников, залегающим в основании свиты.

В скважине №775 геохимические преобразования не затронули нижнюю часть верховской свиты — стратиграфического аналога непейцинской свиты Московской синеклизы. Преобразованной оказалась большая верхняя часть разреза, сложенная толщами переслаивания.

Исключение, которое представляет собой разрез Солигалич, может быть связано с тем, что скважина расположена в зоне инверсионного поднятия над грабеном, где в предсреднедевонское время произошло срезание почти 750 м нижнепалеозойских и верхневендских отложений. Разломы и флексуры по краям поднятия способствовали миграции подземных вод.



Фотографии шлифов вендских осадочных пород:

а — фоссиллизированный цианобактериальный мат с налипшими песчинками эолового происхождения (гаврилов-ямская свита); б — сезонный слоек, верхняя часть которого (нижняя половина фотографии) обогащена пленками органического вещества (гаврилов-ямская свита); в — песчаники любимской свиты, поровое пространство которых служило водоносом в девоне; г — фоссиллизированный цианобактериальный мат, захороненный в алевролитистых породах (любимская свита). Длина масштабной линейки 100 мкм.

Фото М.Б.Бурзина и В.Н.Родионова

Кроме того, редкинские отложения здесь содержат много мощных пластов песчаников, которые и служили, судя по всему, водоносами.

* * *

Результаты Rb-Sr изотопно-геохимического исследования глин из далеко отстоящих друг от друга скважин разных регио-

нов Русской плиты показывают, что герцинским эпигенезом в той или иной мере были охвачены вендские отложения на всей территории их развития. Такой вывод кажется вполне логичным: отражения герцинских событий на Русской платформе хорошо известны и детально изучены [14]. Однако их влияние на геохимические системы

древних осадочных пород зафиксировано впервые. Это интересно само по себе, но имеющийся материал позволяет проникнуть и в детали механизма геохимических изменений.

Очень важно, что граница геохимических преобразований в верхневендских отложениях не связана с глубиной их залегания, а определяется присутствием непроницаемых глинистых толщ без прослоев неплотных и легко размываемых пород. В разрезе Гаврилов-Ямских скважин глубина, на которую в раннедевонское время проникали подземные воды, составляет почти 950 м (если считать от подошвы отложений среднего девона, начинающих верхнепалеозойский разрез). Воздействие подземных вод на более подвижный стронций привело к перестройке Rb-Sr систем глинистых минералов, что и позволило оп-

ределить время появления «молодого» герцинского события.

Эпигенетическое преобразование подземными водами нижнекембрийских и верхней части верхневендских отложений в раннедевонское время — скорее всего, одна из важнейших причин бесперспективности нижнего палеозоя и венда центральных районов Русской плиты для поисков углеводородного сырья. Учитывая новые данные, можно не только объяснить причины, но и указать граничную глубину бесперспективных толщ.

Вряд ли измененные подземными водами породы могут оказаться пригодными для выделения биомаркеров, а тем более изучения остатков вендских и раннекембрийских бактерий [15]. Хорошо известно, что современная подземная часть биосферы представлена обильными

и разнообразными микроорганизмами, существование которых связано с подземными водами. Микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности могли переноситься подземными потоками в более древние отложения. Не исключено, что и в раннем девоне подземные воды были уже населены микроорганизмами, которые могли существенно повлиять на сохранность и «чистоту» верхневендских и нижнекембрийских ископаемых органических молекул. С развитием методов исследования можно пробовать изучать раннедевонскую подземную биосферу, но не в породах раннего девона (как хочется думать), а в вендских и нижнепалеозойских толщах. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-05-64178.

Литература

1. Герасименко Л.М., Жегалло Е.А., Жмур С.И. и др. // Палеонтологический журнал. 1999. №4. С.103—125.
2. Журавлев А.Ю. Невидимые миру факты, или «Говорящие» атомы и молекулы в палеонтологии // Природа. 2003. №5. С.43—49.
3. Семихатов М.А. Уточнение оценок изотопного возраста нижних границ верхнего рифея, венда, верхнего кембрия // Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. СПб., 2000. С.95—107.
4. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т.2. Стратиграфия и геологические процессы. М., 1985.
5. Федоров Д.Л., Бурзин М.Б., Владимирова Т.В. и др. Тектонические и палеофациальные критерии нефтегазонасыщенности Московско-Мезенской области прогиба // Нефтегазовая геология на рубеже веков. Прогноз, поиски, разведка и освоение месторождений. Т.2. Стратиграфия, общая геология, региональный прогноз. СПб., 1999. С.173—179.
6. Бурзин М.Б. Древнейшие организмы — источник нефти на Русской платформе? // Природа. 1996. №2. С.38—44.
7. Стратиграфическая схема вендских отложений Московской синеклизы. Объяснительная записка. М., 1996.
8. Бурзин М.Б., Кузьменко Ю.Т. Детализация стратиграфической схемы вендских отложений Мезенской синеклизы // Актуальные проблемы геологии горючих ископаемых бассейнов Европейского Севера России. Материалы Всероссийской конференции (26—28 апреля 2000 г., Сыктывкар, Республика Коми). Сыктывкар, 2000. С.39—40.
9. Костицын Ю.А. Накопление редких элементов в гранитах // Природа. 2000. №1. С.21—30.
10. Виноградов В.И., Бурзин М.Б. Эпигенетическое преобразование древних отложений // Природа. 2002. №3. С.81.
11. Виноградов В.И., Буякайте М.И., Муравьев В.И. и др. // Литология и полезные ископаемые. 2002. №5. С.525—534.
12. Виноградов В.И., Головин Д.И., Буякайте М.И., Бурзин М.Б. // Литология и полезные ископаемые. 2003. №2. С.209—214.
13. Пиррус Э.А. Глинистые минералы в вендских и кембрийских породах и их значение для палеогеографии и стратиграфии // Палеогеография и литология венда и кембрия запада Восточно-Европейской платформы. М., 1980. С.97—113.
14. Леонов Ю.Г. Тектоническая природа девонского орогенеза. М., 1976.
15. Федонкин М.А. Крупнейшее местонахождение докембрийской фауны // Природа. 1981. №5. С.94—102.

О поверхностной электропроводности

С.А.Семиков

Нижегородский государственный технический университет

Тот, кто впервые берет в руки электротестер, обычно не упускает возможности немного поэкспериментировать с ним в режиме измерения сопротивления. В этом режиме отклонение стрелки пропорционально электропроводности, т.е. величине, обратной сопротивлению. Одни предметы (проводники) радуют сердце экспериментатора заметной реакцией стрелки, другие (диэлектрики) оставляют стрелку и сердце недогнущими. Но странное дело: некоторые материалы, являющиеся классическими примерами диэлектриков с бесконечно большим (в идеале) сопротивлением, вызывают отклонение стрелки — скажем, оконное стекло, деревянный подоконник (особенно зимой).

Как же в таких диэлектриках может протекать ток? Оказывается, ток внутри них и не протекает — он идет по их поверхности. Поверхность любых тел проводит электроток (его называют поверхностным), причем сопротивление уменьшается с ростом относительной влажности воздуха ϕ , определяемой как отношение давления водяных паров p_n воздуха к давлению p_n насыщенного водяного пара (предельному при данной температуре). Давление насыщенного пара зависит от температуры; его снижение при уменьшении последней обуславливает замет-

ную проводимость холодного оконного стекла или подоконника. Влажность вблизи них иногда достигает 100%; тогда на стекле видны капли сконденсировавшейся влаги.

Последствия увеличившейся поверхностной проводимости можно заметить, стоя у кухонной плиты. Пьезозажигалка иногда барахлит: вместо громкого треска искрового разряда слышится шипение коронного, которым газа не зажечь. Однако спустя какое-то время зажигалка работает как новая. Неисправность возникает при повышенной влажности воздуха на кухне: поверхностное сопротивление сильно падает, и на электродах не успевает накапливаться достаточный для пробоя потенциал — заряд стекает по поверхности.

В чем же причина поверхностной электропроводности? Зависимость сопротивления от влажности заставляет заподозрить, что все дело в воде, имеющейся на поверхности диэлектрика; именно она, видимо, и проводит ток. Действительно, на любой поверхности всегда есть следы воды. Благодаря этому, например, клеит «Суперклей». Мгновенную полимеризацию входящего в него метил- или этилцианакрилата вызывают как раз мизерные количества воды, связанной с поверхностью. Но как вода возникает и удерживается на поверхности? Известно, что любая поверх-

ность адсорбирует молекулы газов, в том числе и молекулы водяного пара. Однако слой адсорбированной воды имеет очень малую и практически независимую от влажности толщину (в несколько молекул — порядка расстояния, на котором эффективны межмолекулярные силы). Поэтому проводимость адсорбированной пленки влаги крайне мала и не зависит от влажности. Может быть, пленка образована сконденсировавшейся на поверхности водой? Но роса выпадает, только когда пар становится насыщенным (при 100% влажности). При меньшей влажности вода испаряется. Да и не видно обычно капелек сконденсировавшейся воды на поверхности стекла или подоконника, проводящих ток.

Откуда же в таком случае берется вода? На этот вопрос помогают ответить наблюдения над коррозией металлов. Дело в том, что скорость образования окислов на поверхности металла подчиняется похожей зависимости от влажности: чем больше влажность, тем быстрее идет окисление. При влажности ниже 60% коррозия практически отсутствует, а по мере роста влажности от 60 до 100% — начинает ускоряться в степенной зависимости. Это объясняется тем, что коррозия идет в слое поверхностной влаги, количество которой увеличивается с ростом влажности. Слой окислов появляется прежде всего на де-

фектах поверхности — царапинах, микротрещинах, ямках и пылинках, причем стоит появиться первым признакам коррозии, как она начинает идти все ускоряющимся темпом за счет разрастания этих дефектов. Поэтому коррозионная стойкость металла зависит от качества обработки его поверхности: чем меньше на ней дефектов, чем лучше она отполирована, тем медленнее идет коррозия.

В детстве многие из нас неосознанно пользовались конденсацией влаги на неоднородностях, выводя пальцем на стекле невидимые письмена. Стоило дохнуть на стекло, и надпись чудесным образом проявлялась. Капли влаги конденсировались вдоль невидимых борозд жира, грязи, оставляемых пальцем, делая их видимыми на фоне равномерно рассеянных капель.

В царапинах и микропорах вода присутствует при любой влажности, и никакой силой ее нельзя оттуда изгнать. Все дело в капиллярном давлении, которое создается поверхностным натяжением жидкости. Перепад давления на поверхности жидкости тем больше, чем меньше радиус кривизны этой поверхности. Если поверхность жидкости выпуклая (например, у ртути в стеклянном капилляре), то давление ее повышено на величину капиллярного давления, и испарение увеличивается. Если же поверхность жидкости вогнута (как у воды в стеклянном капилляре), то давление снижено по сравнению с внешним, и ее испарение ослаблено: жидкость может не испаряться даже при давлении паров, значительно меньшем давления насыщенного пара для плоской поверхности. Уменьшение давления жидкости по сравнению с внешним приводит к снижению давления насыщающего вогнутую поверхность пара вплоть до имеющегося давления ($\varphi = 100\%$), отчего и происходит конденсация.

Вогнутую форму поверхность жидкость принимает как

раз в царапинах, ямках, имеющих на любом материале, даже если их не видно. Более того, на полированной поверхности царапин бывает даже больше, поскольку для полировки применяются абразивные порошки и пасты. Однако царапины эти невидимы, поскольку их ширина меньше длин волн видимого света. Царапины, впадины, содержащие воду, создают на поверхности плотную сеть сообщающихся каналов. Именно по этим каналам с водой и течет поверхностный электроток.

Остается только выяснить, почему сопротивление уменьшается с ростом влажности. Рассмотрим идеализированную прямую царапину с сечением постоянного профиля в форме равнобедренного треугольника с углом 2α при вершине (рис.1). Поверхность воды в такой канавке будет иметь форму цилиндра, радиус r которого легко найти, взглянув на прямоугольные треугольники ABC и OBC: $r = OC = AB \cdot \text{tg}(\text{CAB}) / \cos(\text{OCB}) = b \cdot \text{tg}(\alpha) / \cos(\alpha + \beta)$, где b — высота жидкости в канале, а β — краевой угол смачивания, т.е. угол, образуемый границей жидкость—воздух с границей жидкость—субстрат. Капиллярное давление разрежения $p = \sigma / r$, где σ — коэффициент поверхностного натяжения воды.

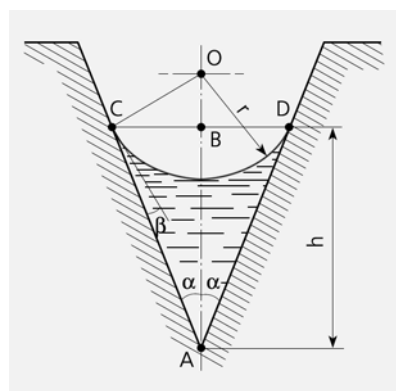


Рис. 1. Модель поверхностной царапины с треугольным профилем, заполненной водой до высоты h ; r — радиус цилиндрической поверхности воды.

Свяжем это давление с влажностью $\varphi = p_n / p_a$ для плоской поверхности. Поскольку поверхность жидкости в царапине находится в равновесии (скорость испарения равна скорости конденсации), то давление водяного пара p_n является насыщающим вогнутую поверхность воды. Отношение давлений насыщения для вогнутой и плоской поверхностей равно отношению давлений этих жидкостей. Для плоской поверхности давление равно атмосферному p_a , а для вогнутой — разности атмосферного p_a и капиллярного p . Получаем с учетом формул для капиллярного давления и радиуса

$$\varphi = \frac{p_n}{p_a} = \frac{p_a - p}{p_a} = 1 - \frac{p}{p_a} = 1 - \frac{\sigma \cos(\alpha + \beta)}{p_a b \cdot \text{tg}(\alpha)},$$

откуда высота

$$b = \frac{\sigma \cos(\alpha + \beta)}{p_a \cdot \text{tg}(\alpha) \cdot (1 - \varphi)}$$

Как видим, с ростом влажности высота растет. Для воды ($\sigma = 0.072$ Н/м) на поверхности стекла ($\beta = 0^\circ$), при нормальных условиях ($p_a = 100$ кПа, $\varphi = 65\%$) и профиле сечения царапины в форме равнобедренного треугольника ($\alpha = 30^\circ$) получим высоту уровня воды в царапине около 3 мкм. Поэтому глубина и ширина царапин такого профиля должна быть не меньше этого значения, иначе дальше высота расти не будет. Впрочем, такой размер царапин вполне типичен. При $\varphi = 80\%$ b будет около 6 мкм, а при 95% — уже около 20 мкм. То есть чем выше влажность φ , тем быстрее растет высота, а при влажности 100% высота жидкости в канале стремится к бесконечности. Ясно, что таких глубоких царапин не бывает. Кроме того, равновесная высота жидкости зависит и от остроты щели (от угла α): чем царапина острее, тем больше b .

Видно, что высота также уменьшается с ростом краевого угла смачивания β ; при $\beta =$

= (90° - α) высота нулевая. А при дальнейшем увеличении β поверхность жидкости в царапине должна принять выпуклую форму, что только усилит испарение, поэтому *b* начинает принимать отрицательные значения. Это означает, что воды в царапине попросту нет.

Найдем теперь сопротивление вырезанной из диэлектрика (с бесконечным объемным сопротивлением) тонкой прямоугольной пластины размером *L*×*b* (рис.2), ток по которой проводит беспорядочная паутина соединяющихся между собой каналов с водой. Для простоты заменим их параллельными царапинами, проходящими от одного электрода к другому. Такое упрощение допустимо, поскольку каналы сообщаются и можно выделить множество ломаных кратчайших (среди всех других) путей по каналам, по которым и будет преимущественно протекать ток (рис.2). (Хотя следовало бы учесть, что прямолинейные каналы имеют меньшую

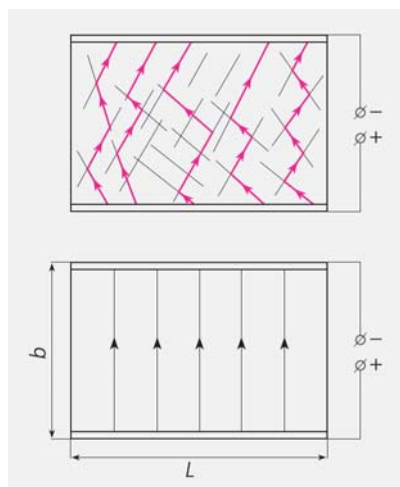


Рис.2. Сетка царапин на поверхности диэлектрика, по которой осуществляется проводимость. При расчете используется идеализация: царапины считаются параллельными друг другу прямыми, идущими от одного электрода длиной *L* к другому; *b* — расстояние между электродами.

длину и сопротивление, чем ломаные.) Линейную плотность упорядоченных царапин — число *n* царапин, приходящихся на единицу длины электрода, — следует принять равной линейной плотности беспорядочных царапин. В итоге полное сопротивление участка выразится как сопротивление водяного канала одной царапины $R_{ц} = \rho b/S$ (где ρ — удельное объемное сопротивление воды, *b* — длина царапины, а *S* — площадь сечения водяного канала), поделенное на количество $N = n \cdot L$ царапин, поскольку царапины подключены параллельно:

$$R_s = R_{ц}/n = \frac{\rho b}{SnL}.$$

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s выразится отсюда, если принять *L* и *b* равными единице длины, откуда $\rho_s = \rho/Sn$.

Площадь *S* поперечного сечения водяного канала есть площадь равнобедренного треугольника CAD, $S_{CAD} = AB \cdot BC = b^2 \cdot \text{tg}(\alpha)$. Площадь вырезаемого из него кругового сегмента пренебрегаем, поскольку принимаем царапину достаточно острой. Подставляя в формулу для ρ_s выражение площади через высоту, получим

$$\rho_s = \frac{\rho p_a^2 \text{tg}(\alpha)(1-\varphi)^2}{n \sigma^2 \cos^2(\alpha+\beta)}, \text{ и } R_s = \rho_s b/L.$$

В этой формуле хорошо прослеживаются все зависимости.

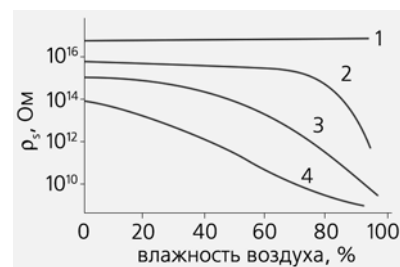


Рис.3. Зависимость удельного поверхностного сопротивления ρ_s от относительной влажности воздуха для парафина (1), янтаря (2), шеллака (3) и слоя глазури на фарфоре (4).

Видно, например, что с ростом влажности φ уменьшается удельное сопротивление, и чем дальше, тем быстрее. Видно также, что ρ_s очень сильно зависит от значения краевого угла смачивания β благодаря зависимости высоты *b* от β. Чем последний угол больше, т.е. чем хуже жидкость смачивает поверхность, тем меньше высота и больше поверхностное сопротивление. Именно такие зависимости были найдены эмпирически (см. табл. и рис.3 [1]). При угле β = (90° - α) сопротивление должно стремиться к бесконечности (ток по поверхности не течет). При дальнейшем увеличении угла формула неприменима, поскольку высота воды в канале получается отрицательной, что говорит о бесконечном сопротивлении. Наконец, видно, что

Таблица

Зависимость удельного поверхностного сопротивления ρ_s от относительной влажности воздуха для парафина (1), янтаря (2), шеллака (3) и слоя глазури на фарфоре (4).

Материал	Краевой угол смачивания β	Твердость по шкале Мооса	ρ _s , 10 ¹⁵ Ом, при относительной влажности воздуха	
			φ = 0%	φ = 98%
Политетрафторэтилен	113°	1–2	500	500
Полистирол	98°	2	500	300
Полиметилметакрилат	73°	2–3	5	1.5
Аминопласт	65°	3	0.6	0.03
Ультрафарфор	50°	4–5	10	0.01
Плавленый кварц	27°	7	100	6.5·10 ⁻⁵

чем гуще поверхность исцарапана, чем острее царапины и микротрещины, тем меньше сопротивление.

Полученная формула, конечно, весьма приближительна: в действительности геометрические параметры различны для разных групп царапин; предположение об идеальном треугольном профиле — тоже идеализация (ребра, углы царапин всегда имеют скругления). Не учли мы и ограниченную глубину царапин, считая, что вода в ней может подниматься на любую высоту b .

Ясно, что формула станет неприменимой, как только вода дойдет до края царапины. После этого скорость падения сопротивления с ростом влажности будет только уменьшаться, поскольку все меньше будет оставаться царапин, не заполненных до краев (более глубоких и

с большими углами α). Вероятно, именно в переполнении части царапин водой и состоит причина изменения характера изменения сопротивления на некоторых кривых (рис.3, кривая 4). Поскольку все царапины имеют различную глубину, кривая меняет характер не резко, а плавно.

Полировка поверхности, вообще говоря, не уменьшает, а увеличивает количество царапин, но сопротивление гладкой полированной поверхности все же больше, поскольку глубина и острота царапин становятся меньше. Поэтому они заполняются уже при малой влажности, а после уровня жидкости почти не меняется, не уменьшается соответственно и сопротивление.

Различие глубины царапин может приводить и к более быстрому (чем следовало бы из выведенной формулы) падению сопротивления с ростом влажности. Дело в том, что при малой влажности многие каналы не соединены, так как вода на дне различных по глубине царапин лежит на разной высоте. К тому же канал с водой то и дело разрывается пересекающими его более глубокими царапинами. Но по мере нарастания влажности уровень воды поднимается, и все больше каналов замыкается друг с другом, увеличивая проводимость.

Есть и еще одно несоответствие. А именно, для наличия поверхностной проводимости значение краевого угла β , как было выяснено, не должно превышать $(90^\circ - \alpha)$. Поэтому даже в сверхострых царапинах, трещинах с почти отвесными стенками ($\alpha = 0$), краевой угол не должен быть больше 90° . Если же учесть, что царапины в действительности значительно менее острые, то предельному краевому углу следует быть еще меньше. Между тем, как видно из таблицы, и для веществ с $\beta > 90^\circ$ имеется некоторая поверхностная проводимость, иногда даже растущая с ростом влажности. Отчасти это связано с тем, что

адсорбированная пленка влаги хотя и плохо, но проводит ток. Но уменьшение сопротивления с ростом влажности этим не объяснить. Видимо, и здесь в проводимость дают какой-то вклад царапины. Формулу в данном случае использовать не удастся из-за того, что введенный в формулу угол, составляемый границами жидкость—воздух и жидкость—субстрат, в действительности иногда отличается от краевого угла смачивания.

В этом легко убедиться, если капнуть несколько одинаковых капель воды на пластинку из стекла. Видно, что одни капли получаются более выпуклыми, а другие — более плоскими; различны, следовательно, и краевые углы. Хотя краевой угол, определяемый только силами адгезии и когезии (притяжением молекул жидкости соответственно к молекулам твердого субстрата и к другим молекулам жидкости), является физической константой.

Противоречие легко устранить, если вспомнить, как меняется краевой угол смачивания в стакане чая, наполненном до краев. По мере добавления чая его вогнутая поначалу поверхность (рис.4,а) становится все более плоской (рис.4,б), а после начинает даже невероятным образом выпучиваться (рис.4,с) — получается стакан, налитый с верхом. Однако, присмотревшись, мы заметим, что в действительности краевой угол не изменялся. Просто граница чая, находившаяся вначале на внутренней вертикальной стенке, переместилась на горизонтальную поверхность кромки стакана, а после и на внешнюю его поверхность, также вертикальную. То есть изменялся не краевой угол, а угол наклона опорной поверхности — субстрата, а вместе с ней наклонялась и прилегающая поверхность жидкости.

То же, но в меньшем масштабе происходит и на плоской поверхности. Ведь в действительности поверхность не плоская,

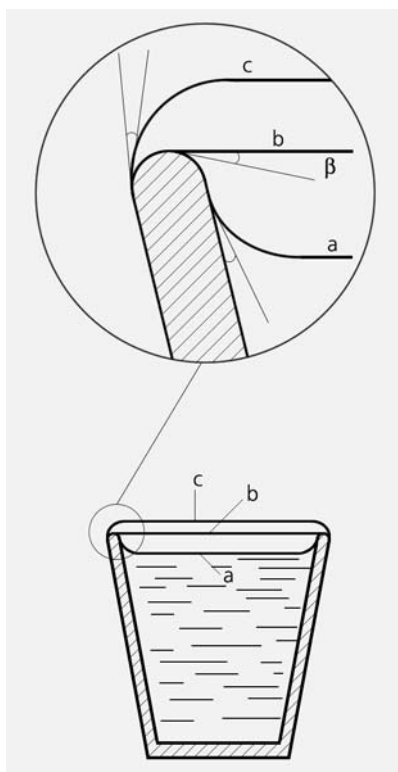


Рис. 4. Заполнение стакана водой. Несмотря на видимую трансформацию поверхности, краевой угол остается неизменным.

а покрыта микроскопическими холмиками и впадинами. Присутствие и влияние этих бугорков хорошо заметно на краевых каплях: он не прямой, а зазубренный, поскольку граница жидкости обходит бугорки по их склонам, обращенным в одну сторону (либо к капле, либо от капли). Именно с их, часто сильно наклоненной, поверхностью, прилегающая поверхность жидкости и составляет постоянный краевой угол, а вовсе не с базовой плоскостью. Поэтому и казалось, что краевой угол у капель изменялся, хотя на самом деле он оставался постоянным.

Итак, введенный нами на рис.1 угол β — не то же самое, что краевой угол смачивания, хотя и близок к нему. Поэтому зависимость сопротивления от влажности существует и при краевых углах смачивания, больших прямого. Однако при углах смачивания, ощутимо превосходящих 90° , например при $\beta = 107^\circ$ для парафина или $\beta = 113^\circ$ для тефлона (политетрафторэтилена), такое объяснение уже не помогает — их поверхностное сопротивление не зависит от влажности (рис.3, таблица).

Изменяя параметры, входящие в формулу, можно менять поверхностное сопротивление в ту или иную сторону, когда в этом появляется практическая необходимость. Вот несколько примеров.

Опыты со статическим электричеством стараются проводить в сухом воздухе натопленного помещения, чтобы накапливать большие заряды, не стекающие длительное время. Но чаще от статического электричества стараются избавиться.

Всем известно, что одежда из синтетики бьет током. Связано это с тем, что большинство искусственных полимерных волокон, состоящих из неполярных молекул, очень плохо смачива-

ются водой (велик угол β). К тому же они значительно менее пористые, чем природные, и уступают им по гигроскопичности. В результате заряд, разделяющийся при движении, трении одежды, не стекает по волокнам, а накапливается, приводя к пробоям. Специальные антистатики покрывают ткань тонкой пленкой, значительно лучше смачиваемой водой, вода конденсируется на волокнах, и по ней заряд стекает точно так же, как в примере с пьезозажигалкой — без искрового разряда.

Чтобы пьезозажигалка хорошо работала и при большой влажности, надо регулярно разбирать ее и протирать механизм и все поверхности от грязи и пыли. Именно грязь, пылинки, зазоры между ними, неровности на поверхности старой зажигалки подобно губке притягивают влагу. К тому же в этой грязи содержатся соли, которые, растворяясь, значительно понижают удельное сопротивление чистой скопированной воды. Поэтому лучше производить очистку дистиллированной водой, не содержащей солей, или спиртом. Точно также чистят от копоти свечи зажигания в бензиновых двигателях, поскольку сажа не только сама проводит ток, но еще и поглощает влагу. Их совместная поверхностная проводимость не дает возникнуть искре.

Поверхностную проводимость особенно важно учитывать при проектировании микроэлектронных устройств. Так, одно время были частыми поломки джойстиков, происходившие при одновременном касании рукоятки джойстика и монитора. Статический заряд, накопившийся на экране монитора, не имевшего раньше защиты, стекал через человеческое тело к крепко ухваченной рукоятке джойстика, а после по ее обильно сдобренной потом шерша-

вой поверхности к чувствительным микросхемам, спрятанным внутри корпуса, вызывая их перегорание.

Батарейки рекомендуют вынимать из длительно неработающего устройства не только, чтобы предотвратить их протекание, но и чтобы заряд батареек не утекал по большой разветвленной поверхности, с которой контактируют полюса батареек и соединенные с ними многочисленные длинные проводящие дорожки.

Особыми водоотталкивающими составами покрывают (гидрофобизируют) поверхности радиомачт, чтобы уменьшить утечку индуцированных на антеннах зарядов через поверхностную влагу в землю.

Наконец, для увеличения сопротивления просто стараются увеличить расстояние между электродами и уменьшить их длину. Это осуществлено в свече зажигания, в которой путь по поверхности от одного электрода к другому специально искусственно удлинен.

Единственный параметр, который не привлекался до сих пор для воздействия на поверхностное сопротивление, — коэффициент поверхностного натяжения. Для воды его удается существенно увеличить пока только в лабораториях при многоступенчатой очистке воды. Но зато его несложно уменьшить (в три и более раз), покрывая материалы поверхностно-активными веществами. Это, как следует из формулы, позволит увеличить поверхностное сопротивление примерно в 10 раз.

Знание приведенной зависимости может помочь при выборе электроизолирующих материалов, их покрытий, проектировании печатных плат и во многих других случаях. Читателю, вероятно, будет самому интересно подумать, где и когда именно. ■

Литература

1. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М., 1982.

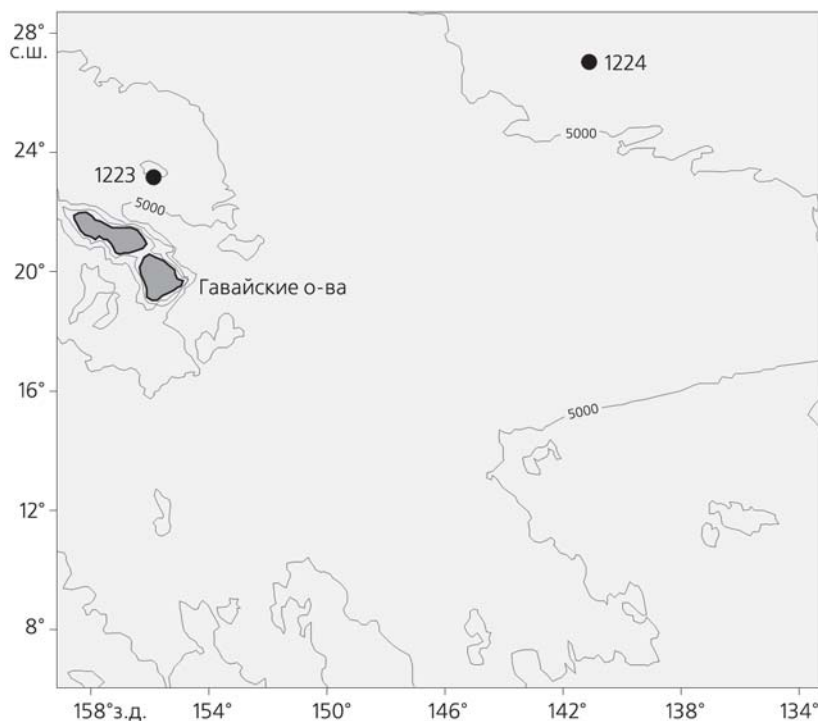
200-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук
Геологический институт РАН
Москва

Очередной рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн» проходил с 16 декабря 2001 г. по 27 января 2002 г. к северо-востоку от Гавайских о-вов под научным руководством Р.А.Стефена (Отдел геологии и геофизики Океанографического института, Вудс-Хол, США), Дж.Касахары (Институт исследований землетрясений Токийского университета, Япония) и Г.Д.Эктона, представителя Программы океанского бурения (США) [1]. Главной задачей 200-го рейса было бурение и подготовка скважины, в которой в дальнейшем будет установлено оборудование в рамках создания океанической сейсмометрической сети с целью мониторинга землетрясений и глобальной сейсмической томографии Земли, которая позволяет получать трехмерную картину латеральной неоднородности Земли [2–4]. Это исключительно важно для решения многих фундаментальных проблем геологии, таких, например, как мантийная конвекция, геомагнетизм, физические свойства минералов, анизотропия ядра, структура пограничного слоя между ядром и мантией. Одновременно решалась и прикладная задача — прогнозирование землетрясений.

© Басов И.А., 2004



Скважины, пробуренные в 200-м рейсе.

Выбор этого района для установки постоянного сейсмометра не случаен. Здесь, приблизительно на полпути между Гавайскими о-вами и Калифорнией, на глубине 4979 м располагается распределительный блок подводного кабеля Американской телефонной и телеграфной компании, некогда со-

единявшего о.Оаху с материком. После его обрыва вблизи Калифорнии в 1984 г. кабель был заброшен и сохранился в рабочем состоянии только его гавайский отрезок. В 1998 г. с помощью подводного аппарата «Ясон», управляемого по радио с борта научно-исследовательского судна «Томас Томп-

сон», к нему была присоединена долговременная донная сейсмическая станция, прототип той, которая должна быть установлена в скважине. Станция обслуживается специалистами из Института сейсмических исследований Гавайского университета и Океанографического института в Вудс-Холе. Распределительный блок, сделанный из титана и пластика, имеет резервные соединительные кабели и автономный источник питания мощностью 0.5 кВт. Наличие такого оборудования делает выбор места бурения скважины для будущей станции мировой сейсмической сети естественным, поскольку оно обеспечивает уникальную возможность двусторонней связи между обсерваторией на о.Оаху и сейсмической станцией на дне океана и мониторинг землетрясений в реальном времени, а также практически мгновенный доступ к информации из любой сейсмической лаборатории мира.

Скважина для будущей сейсмической станции была пробурена в точке 1224 (с глубиной океана 4967.1 м), расположенной приблизительно в 1.5 км к северо-востоку от распределительного блока. Базальтовый фундамент, перекрытый мягкими красными глинами мощностью 28 м, пройден на глубину

35 м. Скважина полностью готова для установки в ней сейсмометра: оборудован конус для повторного вхождения, стенки изолированы обсадной трубой и зацементированы.

Кроме этой скважины, в данной точке пробурено еще четыре неглубоких скважины, в частности для определения глубины так называемой линии ила, что необходимо при установке конуса для повторного вхождения, а также одна скважина до глубины 174.5 м для проведения коротких исследований и изучения состава и структуры коры, окружающей скважину с сейсмометром. Она также снабжена конусом для повторного вхождения в будущем.

Вторая научная задача рейса связана с проблемой гравитационной нестабильности больших вулканических построек. Морские исследования в окрестностях некоторых вулканов (Гавайские о-ва, о.Реюньон, Канарские о-ва) выявили вблизи них обширные подводные оползни. Один из них (Нуану) расположен рядом с о.Оаху гавайской цепи, где его формирование связано с обрушением вулкана Кулау. Тело этого оползня (или оползней) перекрыто относительно мощным чехлом турбидитов и других осадков, что препятствует непосредственному изучению грунтовыми трубками.

Поэтому состав, строение, мощность, возраст и история формирования остаются практически неизвестны. Бурением в рейсе предстояло ответить на все или хотя бы на некоторые из этих вопросов.

К сожалению, единственная скважина (1223), пробуренная здесь на глубине 4235.1 м, вскрыла тело оползня на глубину только 41 м, после чего бурение было остановлено из-за угрозы залипания бурового снаряда и дефицита времени. Тем не менее изучение полученного керна позволило сделать ряд важных выводов. Так, установлено, что формирование этого осадочного тела происходило в результате не одного, а нескольких событий. Возраст двух слоев пирокластических туфов, отвечающих извержениям гавайских вулканов, на порядок более мощных, чем известное извержение вулкана Сент-Хелен в 1980 г., составляет приблизительно 2 млн лет. Формирование этих слоев, по мнению участников рейса, могло быть связано с обрушением фланга вулкана. Учитывая, что вскрытая мощность оползня с возрастом 1.8—2.4 млн лет на расстоянии 300 км от о.Оаху превышает 38 м, его истинная мощность должна быть больше, как и количество формировавшихся оползень эпизодов. ■

Литература

1. *Stephen R.A., Kasahara J., Acton G.D. et al.* // *PODP. Init. Repts.* 2003. Leg.200.
2. *Sacks I.S., Suyehiro K., Acton A.M. et al.* // *PODP. Init. Repts.* 2000. Leg.186.
3. *Kanazawa T., Sager W.W., Escutia C. et al.* // *PODP. Init. Repts.* 2001. Leg.191.
4. *Басов И.А.* Результаты 191-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн» // *Природа.* 2002. №10. С.25—26.

Дуб-кочевник



О.В.Смирнова,

доктор биологических наук

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Москва

М.В.Бобровский,

кандидат биологических наук

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
г.Пущино

С глубокой древности дуб черешчатый, или обыкновенный (*Quercus robur*), считается символом широколиственных лесов Европы. Чтобы оценить современное состояние дубрав и попытаться предсказать их будущее, в течение многих лет проводились геоботанические и демографические обследования наиболее хорошо сохранившихся старовозрастных широколиственных лесов европейской части России и сопредельных стран [1–4]. Результаты этого комплексного исследования оказались малоутешительными: выяснилось, что в большинстве восточноевропейских лесных массивов десятилетия (и даже столетия) дуб не возобновляется, поскольку деревьев моложе 80–150 лет там не обнаружено. Стало ясно, что устойчивый поток поколений дуба давно прервался и современное состояние его популяций в широколиственных лесах можно охарактеризовать как катастрофическое. Основная причина тому — высокая требовательность подроста дуба к свету [5].

В лесной экологии давно известно, что для успешного развития молодых деревьев любого вида необходимо появление в лесном пологе просветов (окон), которые периодически возникают в естественном лесу вследствие гибели старых деревьев [6]. Размер окна для разных видов широколиственных деревьев отличается в зависимости от их потребностей в свете: для подроста кленов остролистного и полевого достаточно небольших просветов, площадью

100 м², ясеня обыкновенного — 600 м², а вот устойчивое развитие подроста дуба происходит только в крупных окнах — более 1500 м².

В поисках крупных окон мы специально обследовали леса, где еще сохранились плодоносящие дубы, и обнаружили, что в настоящее время во многих старовозрастных широколиственных массивах европейской части России начинается формирование оконной мозаики в результате естественного отмирания старых деревьев. Наиболее хорошо этот процесс выражен на территориях, которые заняты лесом в течение длительного времени. Эталоном таких экосистем служат сохранившиеся фрагменты бывшей засечной черты — оборонительной линии Московского государства, сформированной в XVI в. [7]. В результате подробного анализа структуры крупных окон в заповеднике «Калужские засеки», национальном парке «Угра» и прочих подобных территориях выяснилось, что в таких просветах быстрее всходят дуба развиваются высокорослые лесные травы; кроме того, на начальных этапах развития дуб могут обогнать молодые растения теневыносливых деревьев и кустарников, которые в угнетенном состоянии уже существовали до появления окна.

Дело обстоит столь плохо, что некоторые исследователи даже считают современные экологические условия зон широколиственных лесов и лесостепи непригодными для устойчивого обитания популяций дуба, а вид — находящимся на грани вымирания. Однако подрост дуба

повсеместно успешно развивается в пионерных лесных сообществах (мелколиственных и сосновых лесах), произрастающих главным образом на залежных землях (бывших пашнях, выгонах, сенокосах). Таких территорий в Европейской России в связи с войнами и другими социальными катаклизмами возникло немало. На заброшенных сельхозугодьях, впоследствии заросших лесом (в сосняках или березняках), можно увидеть разные этапы развития молодого поколения дуба.

Активному внедрению (или, как принято выражаться в науке, инвазии) дуба в пионерные лесные сообщества и на залежи способствуют животные, в первую очередь сойки, разносящие желуди на большие расстояния — от сотен метров до километра. Для сравнения — радиус распространения семян других видов широколиственных деревьев составляет от десятков до полутора сотен метров [8]. Другая биологическая особенность дуба, дающая ему существенные преимущества перед другими видами широколиственных деревьев, — формирование в первый год жизни мощного стержневого корня длиной до 50–70 см, способного пронзить плотную дернину луговых трав.

Стало очевидным, что поиск условий, в которых может успешно проходить развитие дуба, необходимо вести с учетом своеобразия его биологии — требовательности к освещенности и способности внедряться в травяные сообщества с сильным задернением. В настоящее время такие условия создаются на опушках, в местах контакта леса и заброшенных сельхоз-



угодий (в первую очередь сенокосов и пастбищ), а также на внутрিলесных полянах и в светлых лесах (разреженных сосняках и березняках).

В доисторические времена на формировании лесных экосистем сказывалось влияние не человека, как сейчас, а крупных стадных животных, населявших хвойно-широколиственные, широколиственные леса и лесостепь. По данным палеонтологов и историков, в раннем и среднем голоцене в пределах большей части современного лесного пояса Европы существовали многочисленные стада зубров, туров, тарпанов (лесных лошадей). В те времена европейские ландшафты, судя по всему, выглядели так: лесные участки чередовались с полянами, созданными в результате трофической и топической деятельности названных животных, причем протяженность опушек — хранителей максимального биораз-

нообразия — была очень велика [9—12].

Чтобы оценить влияние животных на формирование ландшафтов, сходных с доисторическими, велись длительные наблюдения за поведением зубров полувольного и вольного содержания в нескольких заповедниках (Беловежской пуце, Приокско-Террасном, Хоперском, Центрально-Кавказском). Как известно, зубры — стадные животные, перемещаются они по одним и тем же тропам, отдыхают на одном и том же месте (пространственный консерватизм), трутся о деревья, сдирая с них кору, и т.д. Полное истребление в местах стоянок подроста и молодых деревьев, значительное сокращение числа взрослых деревьев, а также унавоживание почвы приводят к формированию среди сомкнутых лесов полян с луговыми и степными травами и одиноко стоящими деревьями. После то-

го, как зубры покидают созданные ими поляны и парковые леса, эти территории вновь затягиваются лесом, в первую очередь из мелколиственных светолюбивых видов с легколетучими семенами (берез, осин, ив), а затем и дуба черешчатого. Примечательно, что по сравнению с другими видами деревьев подрост дуба обладает большей устойчивостью к объеданию. Кривые, многократно перевершивавшиеся, ветвистые дубки, имеющие вид небольших корявых кустиков, если их оставляют в покое, довольно быстро формируют полноценный ствол и мощную крону. В этих условиях дуб значительно опережает в росте и развитии другие виды широколиственных деревьев и даже не страдает от затенения травами. По мере взросления дуба и формирования лесной среды участок заселяется и другими видами широколиственных деревьев, но дуб остается

Парковый лес с зубрами (Приокско-Террасный заповедник) и подрост дуба на поляне. С доисторических времен крупные стадные животные влияют на формирование лесных экосистем. В местах их стоянок образуются поляны, которые вновь затягиваются лесом — сначала из мелколиственных видов деревьев с легколетучими семенами (берез, осин, ив), а затем и дуба.

Здесь и далее фото авторов



среди них лидером как по размерам и биомассе, так и по длительности жизни.

Однако после смыкания полога широколиственных видов деревьев на бывшей поляне возобновление дуба здесь полностью прекращается, и для поддержания устойчивого потока поколений дуба необходимо его заселение на новую, сформированную животными (зоогенную) поляну. Таким образом, основным условием устойчивого существования локальной популяции дуба в доисторическом ландшафте, по-видимому, был «кочевой образ жизни» этого вида — постоянное расселение и освоение новых полей.

Следует отметить, что формирование зоогенных полей и огромная протяженность экотонов (опушек леса) в доисторических лесах были основным условием устойчивого существования не только популяций дуба, но и огромного набора ви-

дов светолюбивой флоры. Ее составляли многие опушечные виды деревьев (яблоня, груша, черешня, боярышники), кустарников (терн, спиреи, шиповники, миндаль, караганы и пр.), луговых и лугово-опушечных трав. Наличие лесолуговых и лесостепных экотонных сообществ, в которые входили и животные, обеспечивало высокий уровень биоразнообразия в доисторические времена.

Расцвет стадных копытных, формирующих зоогенные поляны, в восточноевропейских лесах пришелся на средний голоцен (около 4—5 тыс. лет назад). В течение большей части позд-

него голоцена (с 2.5—2 тыс. лет назад до позднего средневековья), судя по археологическим находкам, происходило постепенное снижение их разнообразия (в кухонных остатках разных культур в этот период стали преобладать кости домашних копытных).

После исчезновения из восточноевропейских лесов диких стадных копытных судьба дуба стала зависеть от хозяйственной деятельности. Уже более 2 тыс. лет назад парковый характер отдельных участков леса поддерживался выпасом в лесу домашнего скота. При этом территория используется интен-

сивно и довольно равномерно, а мозаика полей разного возраста и сомкнутых участков леса, сформированная дикими животными, постепенно исчезает. И все же парковые леса, сформированные в результате выпаса домашних животных, были одной из стаций обитания подроста дуба в лесах с традиционным способом лесопользования, когда выпас в лесу проводился в центре Европейской России с апреля по октябрь в течение многих столетий и полностью прекратился лишь к середине XX в.

Современные дикие копытные животные (олени, лоси, кабаны и др.), в отличие от зубров, туров и тарпанов, небольших размеров и не ведут стадный образ жизни, поэтому неспособны формировать внутривидовые поляны. Их воздействие на лесные ценнозы ограничивается регуляцией численности и состава подростов деревьев в связи с пищевой избирательностью.

Другим фактором, определившим сохранение популяций дуба в центре Восточной Европы после уничтожения диких стадных копытных, было создание лесных культур. Судя по аб-

солютному возрасту деревьев в наиболее старых культурах дуба, довольно масштабные посадки были начаты не позже 1730-х годов. Длительное время культуры создавались в основном на нелесных площадях (бывших сенокосах, пашнях) внутри массивов широколиственных лесов (засечных, корабельных и пр.). С 1840-х годов создание культур дуба стало регулярным, и в конце XIX — начале XX в. посадки дуба занимали значительные площади в казенных и частных лесах Европейской России [14].

К сожалению, в настоящее время этот опыт ведения лесного хозяйства почти полностью утрачен. В лесном хозяйстве, по коммерческим соображениям, выращиваются исключительно хвойные виды деревьев, включая и местообитания, где успешно могут расти все широколиственные виды, в том числе и дуб. Поскольку в ближайшие десятилетия трудно ожидать возрождения лесного хозяйства России (хотя бы на уровне начала 20-го столетия), повсеместное создание искусственных насаждений дуба вряд ли возможно. Единственные местообита-

ния, где еще можно встретить молодое поколение этого вида, — мелколиственные и сосновые леса в центре европейской части России.

Специалисты лесного хозяйства безусловно осознают причины исчезновения дуба из наших лесов, однако те виды и способы рубок, которые проводятся в наши дни в мелколиственных и сосновых лесах, к сожалению не оставляют надежды на сохранение в них уже существующего подростов дуба и других видов широколиственных деревьев. А ведь это единственная возможность продлить устойчивое существование этого замечательного вида, возобновление которого в современных лесах полностью зависит от человека. И эту возможность надо использовать, а для этого необходимо координировать усилия природоохранительных организаций и специалистов лесного хозяйства, осознающих значимость проблемы сохранения дуба на территории Европейской России, для разработки и реализации всероссийской программы по сохранению естественного возобновления дуба в старовозрастных лесах. ■

Литература

1. Смирнова О.В., Чистякова А.А. Сохранить естественные дубравы // Природа. 1998. №3. С.40—45.
2. Восточноевропейские широколиственные леса / Ред. О.В.Смирнова. М., 1994.
3. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Ред. Л.Б.Заугольнова. М., 2000.
4. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Ред. О.В.Смирнова. М., 2004. Кн.1.
5. Цельникер Ю.Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М., 1978.
6. The mosaic-cycle concept of ecosystems / Ed. H.Remmert // Ecological studies. 1991. V.85.
7. Пономаренко Е.В., Офман Г.Ю., Пономаренко С.В., Хавкин В.П. Зеленая стена России: мост из прошлого в будущее // Природа. 1992. №6. С.84—93.
8. Удра И.Ф. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. Киев, 1988.
9. Пидопличко И.Г. О ледниковом периоде // История четвертичной фауны европейской части СССР. Вып.3. Киев, 1954.
10. Пучков П.В. Некомпенсированные вюрмские вымирания. Сообщение 2. Преобразование среды гигантскими фитофагами // Вестник зоологии. 1992. №1. С.58—66.
11. Vera F.W.M. Grazing ecology and forest history. Oxon; N.Y., 2000.
12. Смирнова О.В., Турубанова С.А., Бобровский М.В. и др. Реконструкция истории лесного пояса Восточной Европы и проблема поддержания биологического разнообразия // Успехи современной биологии. 2001. Т.121. №2. С.144—159.
13. Цалкин В.И. Материалы для истории скотоводства и охоты в Древней Руси // Материалы и исследования по археологии СССР. №51. М., 1956.
14. Бобровский М.В. Козельские засеки (эколого-исторический очерк). Калуга, 2002.

Донная жизнь на картах Мирового океана

Т.С.Лукьянова

Картографическое изображение донной жизни в Мировом океане не столь эффектно, как те картины, которые мы можем увидеть на фотографиях, в кино и на телевидении, а если повезет — и собственными глазами. Однако океаны столь велики, что получить представление о том, как в них распределен зообентос — малоподвижные морские организмы, иногда зарывающиеся в грунт, можно, пожалуй, только с помощью картографических методов.

Приведенные в этой статье карты и полученные с их помощью оценки запасов зообентоса — результат длительных исследований. Идея этой работы принадлежит выдающемуся биологу и океанологу Л.А.Зенкевичу, который в 1969 г. обратился на кафедру общей физической географии и палеогеографии МГУ, где в ту пору готовилась монография «География океана», с просьбой подобрать картографа для этой цели. Руководитель кафедры, видный географ К.К.Марков порекомендовал меня, в ту пору недавнюю выпускницу географического факультета. Прошло более 40 лет, но картографирование донной жизни — важного компонента биосферы — остается для



Татьяна Семеновна Лукьянова, доктор географических наук, профессор кафедры геологии и геоэкологии естественно-экологического факультета Московского государственного областного университета. Область научных интересов — картография, физическая география материков и океанов.

меня одной из самых значительных тем.

Донные организмы — ракообразные, моллюски, иглокожие, черви, губки и другие группы животных — вносят огромный вклад в круговорот химических веществ в океане, в формирование продуктивности вод, в изменение условий среды.

Одни представители донной фауны (моллюски, морские ежи, крабы, креветки, лангусты, омары) с давних времен широко используются человеком в пищу как деликатесный белковый продукт, другие являются производителями драгоценных минералов-биолитов — перламутра и жемчуга.

Знание характера распределения биомассы зообентоса в Мировом океане в целом и в отдельных его районах не только дает возможность прогнозировать добычу этого вида ресурсов океана, но и оценивать изменения биогеоценозов под влиянием антропогенных нагрузок, разрабатывать методы управления хозяйственной деятельностью, а также планировать природоохранные мероприятия в прибрежных акваториях Мирового океана.

Первая карта распределения биомассы зообентоса с оценкой ее величины для всего океана и по вертикальным уровням (0—200, 200—3000 и глубже 3000 м)

© Лукьянова Т.С., 2004

вышла в свет в 1971 г. [1]; на ней обобщены данные, собранные с 1938 по 1968 г.

К настоящему времени удалось провести анализ еще 335 литературных источников с картографическими, табличными, текстовыми и другими материалами о распределении биомассы донной фауны в Мировом океане с 1938 по 1998 г. [2]. Всего же их было полторы тысячи, а список литературы включал почти 700 наименований (почти треть их — зарубежные). Тем не менее обеспеченность отдельных его районов интересующими нас данными очень различна.

Обеспеченность информацией

В Тихом океане, например, она наиболее полна для районов умеренной зоны и северной части, но практически отсутствует для тропического пояса, южных территорий дна, граничащих с водными пространствами Южного океана. Имеются лишь отдельные сведения о прибрежных глубоководных желобах в северо-западной части Тихого океана (Курило-Камчатский, Японский, Алеутский желоба). В последние годы появились данные о биомассе зообентоса вокруг гидротерм в прибрежной части Северной Америки, Восточно-Тихоокеанского поднятия и западной части Тихого океана.

Существуют отдельные картографические материалы для некоторых районов вблизи Австралии, Новой Зеландии и окружающих островов, но полностью отсутствуют данные по центральному региону умеренного пояса океана (Филиппинское море).

В Атлантическом океане наиболее изучены умеренные зоны северной и восточной части, наименее — южный тропический и субтропический пояса, меньше данных о западных регионах умеренного, тропического и субтропического поясов

Северного полушария, о Срединно-Атлантическом хребте.

В Индийском океане больше всего информации для Аравийского моря, Камбейского, Аденского и Бенгальского заливов. В остальных районах, включая зоны архипелагов островов и атоллов, имеются лишь отдельные данные (кроме коралловых рифов тропического пояса).

Центральная, северо-восточная и юго-восточная части Северного Ледовитого океана — практически белое пятно. Нет данных о распределении биомассы зообентоса в котловине Нансена, в восточной части Гренландского и западной части Норвежского морей. Наиболее изучено дно Баренцева, Белого, Карского и Чукотского морей.

В Южном океане имеются точечные данные, полученные у берегов Антарктиды, у Фолклендских о-вов и Южно-Сандвичева желоба; в Тасмановом море и на дне Антарктики к югу от Новой Зеландии; в южном секторе Индийского океана; в морях Уэдделла, Скоша и в Аргентинской котловине; у о. Кергелен, на шельфе Антарктического п-ова.

Таким образом, информация о донной жизни океанов в лучшем случае покрывает одну треть их площади и вдобавок очень разрозненна. Тем не менее ее уже можно положить на карту с равновеликой основой, не искажающей площадь, благодаря которой можно будет в дальнейшем провести количественную оценку зообентоса. Затем с помощью простой интерполяции в наиболее изученных районах проводятся изобенты — линии одинаковой биомассы.

Чтобы продолжить их на практически неисследованные места, приходится применять экстраполяцию, метод аналогов и математическое моделирование. Сначала в общем характере распределения биомассы зообентоса на таких участках выделялся главный определяющий его фактор и явления, косвенно

на него влияющие и наиболее характерные. В итоге по 34 показателям проводились аналогии с достаточно изученными районами со сходными или общими физико-географическими и экологическими условиями.

По разработанной шкале интервалов существующие количественные данные о биомассе зообентоса, снятые с разрозненных региональных карт, наносились на подготовленные рабочие основы масштаба 1:35 000 000, выполненные в равновеликих проекциях для Атлантического и Индийского океанов. Для Северного Ледовитого океана использовалась кося равновеликая азимутальная проекция; для Тихого и Южного океанов — поперечная.

Опыт гидробиологических исследований показал, что биомасса донной фауны зависит от распределения в океане зоопланктона — основного источника пищи и для обитателей толщи воды, и для донного населения; от глубины океана — по мере ее увеличения обычно уменьшается количество поступающей на дно пищи; от удаленности от побережий — богатые жизнью мелководья служат лучшими кормовыми базами по сравнению с глубоководными районами; от географической широты, определяющей смену климатических поясов.

Для установления зависимости количественного распределения зообентоса от указанных факторов с карт Морского атласа в узлах квадратной сетки снимались значения концентраций зоопланктона, глубины, расстояния от берега и концентрации зообентоса в исследованных районах и рассчитывались показатели парной регрессии, по которым вычислялись теоретические значения биомассы зообентоса как функции биомассы зоопланктона, глубины и удаленности от берегов.

Полученные теоретические ряды значений биомассы зообентоса наносились на основу карт-моделей в узлах 5-градус-

ной сетки квадратов (трапеций) для районов, не обеспеченных гидробиологической информацией, и по полученным точкам строились изобенты на теоретических картах-моделях распределения биомассы зообентоса. После их сравнения с картосхемами, построенными методами аналогии и экстраполяции, последние корректировались.

Для измерения площадей распределения биомассы донной фауны по океанам использовался метод планиметрирования и расчеты с использованием компьютера. При этом полученные картосхемы распределения биомассы зообентоса в равновеликой проекции сканировались в масштабе 1:175 000 000, а на электронном варианте картосхемы площадь областей распределения биомассы зообентоса измерялась в минимальных элементах изображения — пикселях. После подсчета их количества на единицу площади карты используемого масштаба, по составленной программе рассчитывалась величина площадей биомассы зообентоса, окрашенных соответствующим цветом [2].

Распределение зообентоса в Мировом океане

Построенные методом аналогов и экстраполяции картосхемы отражают общие закономерности глобального количественного распределения зообентоса в Мировом океане. Наибольшей биомассой донной фауны характеризуется Северное полушарие. Распределение зообентоса в океане носит циркумконтинентальный характер, его количество растет в сторону побережья материков. Изменения биомассы зообентоса приурочены к границам географических поясов.

В Тихом океане максимальные концентрации зообентоса наблюдаются в прибрежных районах западной части, где

они меняются от сотен граммов до 1 кг/м², а в Южно-Китайском море биомасса зообентоса достигает наивысших значений — 50 кг/м².

Высокие показатели биомассы донной фауны наблюдаются также в мелководных районах вблизи побережий Австралии и Новой Зеландии. Причем биомасса зообентоса на литорали Новой Зеландии составляет 255 г/м², что значительно выше, чем на шельфе Австралии (25 г/м²). Такое различие вызвано большим сносом органики с побережья Новой Зеландии и его мелководных участков.

Центральная глубоководная впадина этого района океана заселена неравномерно. Величины биомассы колеблются здесь от 0.05 до 1 г/м², а самое высокое ее значение отмечено в районе к востоку от о-вов Баллени — 42 г/м².

В открытом океане огромные площади удаленных от побережий глубоководных частей характеризуются очень низкими показателями биомассы, не превышающими 1 г/м². Здесь условия среды постоянны и нет динамического влияния поверхностных течений (только через органику, поступающую из поверхностных слоев), отсутствуют резкие сезонные колебания температуры, солености, газового режима. Придонные течения слабее, чем на поверхности. Наиболее бедны центральные части Тихого океана, в основном в тропической зоне, где показатели снижаются до десятков миллиграммов на квадратный метр.

На этом фоне резко выделяются черные курильщики, где биомасса может достигать «ураганных» значений 16—52 кг/м². Такие аномалии приурочены к зонам трансформных разломов и спрединга и проходят вдоль Североамериканского побережья, два курильщика размещаются на Восточно-Тихоокеанском поднятии, часть — на западе Тихого океана: в Южно-

Фиджийской и Западно-Марианской котловинах, на тропе Окинава и один в Беринговом море — у вулкана Пиипа.

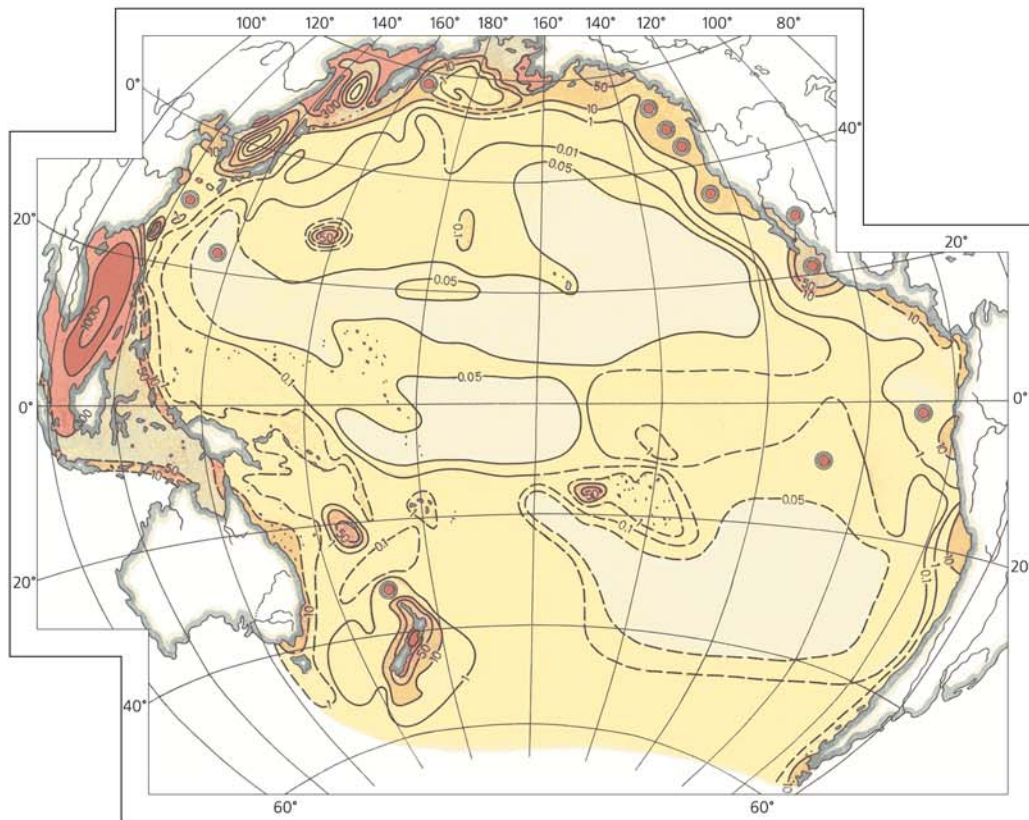
Подобны черным курильщикам подводные горы — гайоты, где происходит резкое повышение биомассы донной фауны (например, подводные горы Маркус-Неккер).

В Атлантическом океане самые высокие величины удельной биомассы наблюдаются в прибрежных районах умеренной зоны, в северной его части. Здесь концентрация зообентоса достигает сотен граммов, а местами (Восточная Гренландия) — почти двух килограммов (1960 г/м²). Повышение концентраций повсеместно наблюдается вблизи материков и крупных островов, во всех эпиконтинентальных морях и в глубоководных прибрежных районах, в том числе в глубоководных желобах. Так, у берегов Намибии этот показатель составляет 100—150 г/м², а на шельфе Южной Америки — 20—200 г/м².

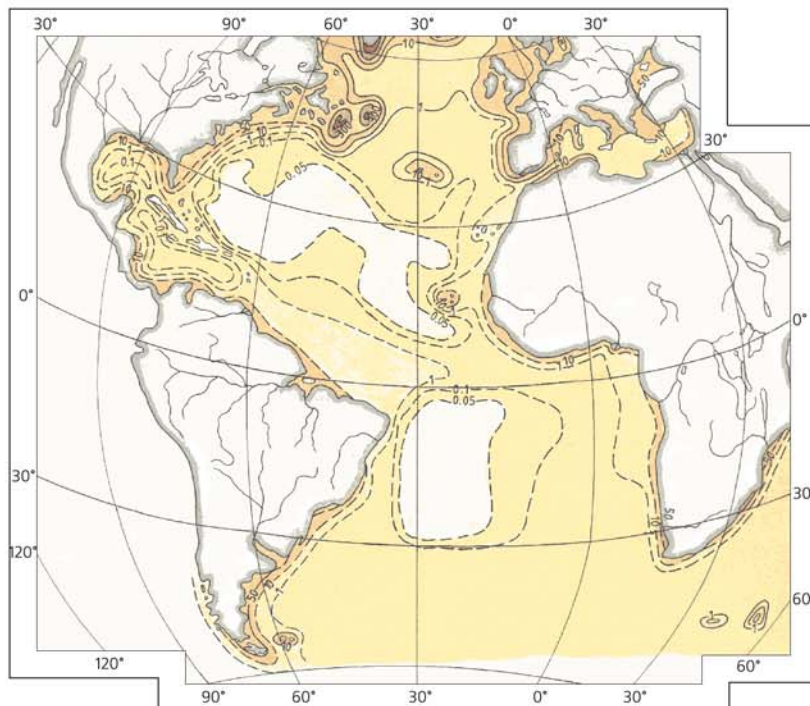
Как и в Тихом океане, на огромных площадях открытых, удаленных от побережий глубоководных частей концентрации зообентоса не больше 1 г/м². Но вдоль берегов всех континентов и у крупных островов (Гренландии, Исландии) биомасса донных животных повышена. Этот эвтрофный периферический «пояс» связан не только с шельфом и материковым склоном. Он распространяется и на прилегающие участки ложа океана — «прибрежную» абиссаль, в которой биомасса обычно гораздо больше, чем на сходных глубинах в открытом океане.

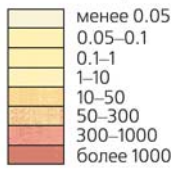
В океанической же абиссали распределение бентоса подчиняется правилам широтной зональности. Наименьшие значения биомассы — 0.005 г/м² и ниже — зарегистрированы в олиготрофных районах в границах центральных круговоротов обоих полушарий. В экваториальной зоне океана концентрации возрастают в 10 раз (0.054 г/м²),

ТИХИЙ ОКЕАН

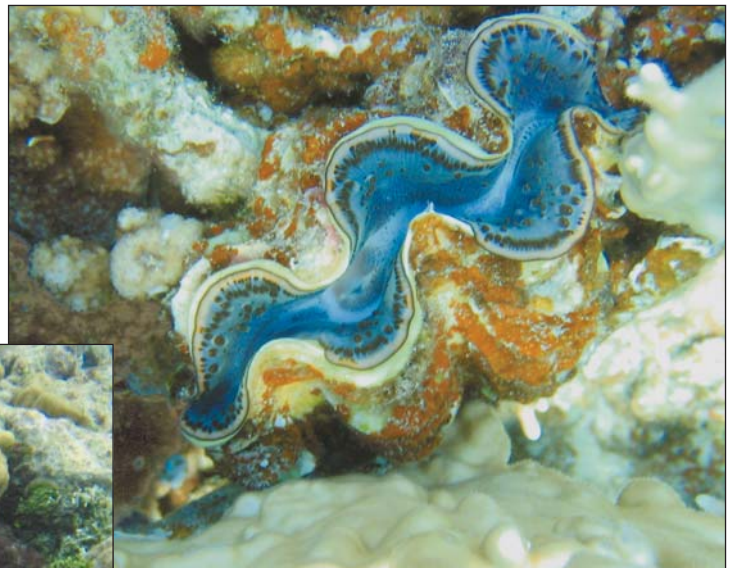
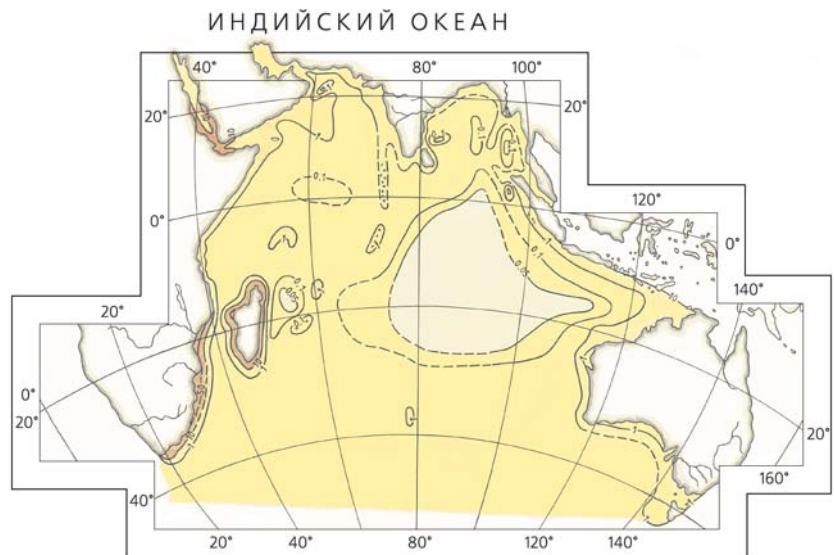


АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН



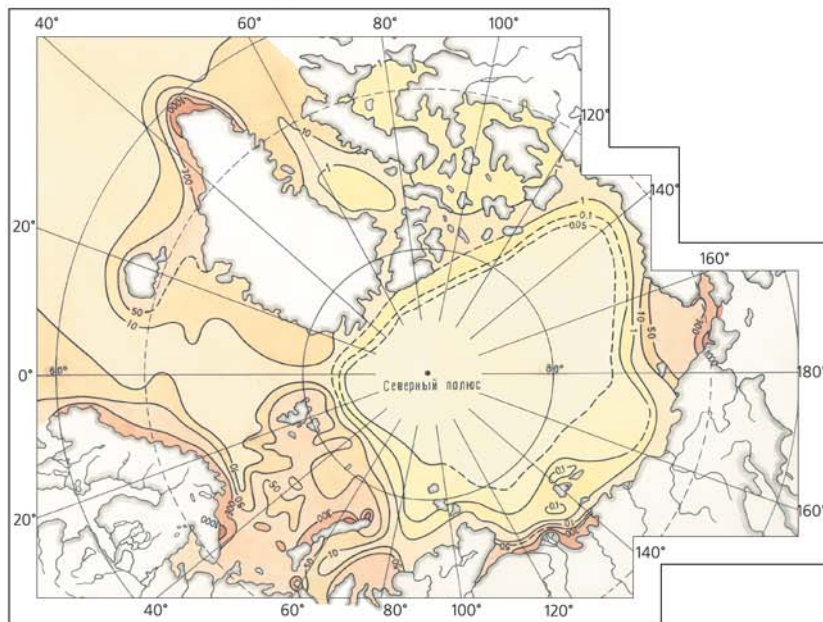
Биомасса, г/м²:
 Черный курильщик

Распределение биомассы донной фауны в океанах. (Биомасса определяется по сборам в спиртовом растворе и составляет 1/2 живого веса.) В Тихом океане, для примера, внеслабным знаком показана биомасса черных курильщиков, впрочем, не влияющая на общее распределение биомассы. Пунктирные линии означают отсутствие фактических данных.

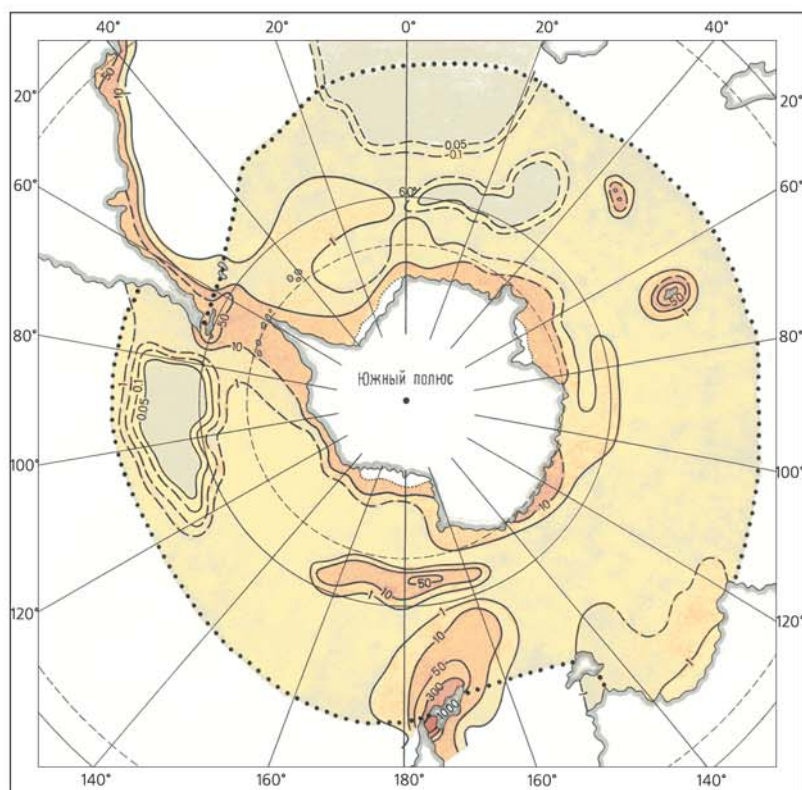


Элементы донной жизни в прибрежных зонах Красного моря и Индийского океана.
Фото А.Ю. и М.Ю. Жуковых

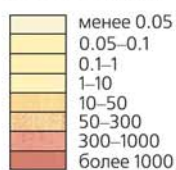
СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН



ЮЖНЫЙ ОКЕАН



Биомасса, г/м²:



..... граница Южного океана

— шельфовые ледники

Распределение биомассы донной фауны в океанах. Пунктирные линии означают отсутствие фактических данных.

но особенно высоки они за пределами тропиков. Между 50° и 65° с.ш., например, биомасса зообентоса может превышать 5 г/м².

В **Индийском океане** максимальные величины концентраций зообентоса (до 1000 г/м²) отмечены в южных районах Никобарских о-вов. На шельфе Аравийского моря средние их величины составляют 35, а в северной части иногда достигают 500 г/м². К наиболее богатым областям Индийского океана можно отнести также юго-восточное побережье Африки, где концентрации поднимаются до 50 г/м² и выше. В Красном море (пролив Губаль) концентрации зообентоса составляют 33.2 г/м². Более высокой биомассой отличается южная часть моря — 56.5 г/м² при максимуме 150.6 г/м². На севере океана этот показатель составляет 24 г/м².

Значительные величины удельной биомассы донной фауны (16 г/м²) отмечены в прибрежных районах всех материков и островов океана. Восточная часть Африканского побережья представлена довольно крутым шельфом и пологой батталью. В районе Бейра удельная биомасса донной фауны равна 8.0, в заливе Делагоа — 25.0, а на Дурбанском шельфе — 14.2 г/м². В северной части шельфа Мадагаскара концентрации зообентоса изменяются от 5.8 до 10 г/м². Самая высокая удельная биомасса наблюдается в Мозамбикском проливе на отмели Прассель — 24.6 г/м², самая низкая в этом районе — на южном шельфе Мадагаскара от 3.4 до 0.2 г/м².

Высокими величинами удельной биомассы зообентоса характеризуются районы мелководий открытого океана. Например, на глубинах от 45 до 300 м в рай-

оне Мальдивских о-вов и на банке Назарет к востоку от Мадагаскара она меняется от 1.0 до 6 г/м². Средняя его концентрация в Большом Австралийском заливе равна 15.0–20.0 г/м².

В северной половине открытой части океана концентрация донной фауны очень невысокая. Так, в районе Сомалийской котловины на глубинах 3000–4000 м она равна 0.1 г/м², а в районе Маскаренской глубоководной котловины с глубинами около 4500 м — не больше 0.09 г/м² (в среднем 0.054 г/м²). С уменьшением глубин (до 1000–3000 м) и с приближением к материкам, а также к крупным островам концентрация донной фауны увеличивается до 1.76 г/м².

Центральные (безостровные) районы Индийского океана отличаются бедной донной фауной. Ее отсутствие связано с обширными глубоководными котловинами (до 4000–6000 м) восточной части Индийского океана. Удельная биомасса зообентоса не превышает здесь 0.06, при средней величине 0.036 г/м².

Распределение зообентоса в **Северном Ледовитом океане** характеризуется крайней неоднородностью. Особенно высокие концентрации — более 1 кг/м² — наблюдаются в прибрежных районах Норвежского, Баренцева, Карского, Чукотского морей. Значительного развития донная фауна достигает также в самой южной части Чукотского моря, где этому благоприятствуют теплые воды, идущие из Берингова моря навстречу

холодным водам Арктики. Удельная ее биомасса здесь может достигать более 500 г/м². В районе Баренцева моря этот показатель в среднем по всему морю равен 100 г/м². В Карском море на илисто-песчаных и песчаных грунтах концентрации зообентоса достигают 50–100 г/м², вблизи берегов Ямала, на южных мелководьях, — 300 г/м². В центральных районах Карского моря и к востоку от центрального плато она составляет менее 5 г/м².

Значительные территории дна Арктического бассейна отличаются низкими количественными показателями донной фауны, причем чем дальше от теплого течения Гольфстрим, тем развитие зообентоса меньше. Так, например, в Белом море, где влияние теплого течения сказывается минимально, а континентальный климат создает условия очень холодной зимы и плотного ледяного покрова, на дне возникают неблагоприятные для развития донной фауны коричневые грунты. Средняя ее концентрация для Белого моря равна только 20 г/м². Вдали от побережий глубоководные части Северного Ледовитого океана характеризуются очень низкими показателями биомассы, не превышающими 1 г/м².

Максимальные концентрации зообентоса (500–600 г/м²) в **Южном океане** отмечены на шельфах морей Уэдделла, Росса, д'Юрвиля. Атлантический сектор не столь богат по численности донных животных. Их биомасса в среднем здесь составляет 19.9 г/м². Незначительна биомас-

са зообентоса (0.05–0.1 г/м²) на открытых площадях, удаленных от побережий.

Ресурсы донной фауны

Оценка суммарных запасов донной фауны на шельфе, в батииали и абиссали Мирового океана впервые была предпринята в 1960 г. сотрудниками Института океанологии АН СССР под руководством Л.А.Зенкевича [3].

В табл.1 приведены результаты расчетов биомассы зообентоса по новым картам. Получается, что нынешняя средняя концентрация донных организмов на шельфе в диапазоне глубин 0–200 м в 1.5 раза ниже, чем была в 1960 г., так же как и суммарная биомасса зообентоса на этих глубинах.

Биомасса же зообентоса на материковом склоне превышает рассчитанную в 1960 г. почти в два раза. По-видимому, большое количество органики, поступающее в регионы материкового склона, позволяет развиваться здесь жизни — средние концентрации зообентоса в диапазоне глубин 200–3000 м оказались в 1.5 раза выше предыдущих величин.

Средняя концентрация для глубин более 3000 м сегодня на порядок выше прежнего показателя, а суммарная биомасса в этой же зоне превышает данные 1960 г. в 11 раз. Такой рост определяется учетом в современных расчетах данных по локальным зонам «оазисов жизни» — черным курильщикам, об-

Таблица 1

Количество донной фауны в Мировом океане по данным 1960 и 2000 гг.

Глубина, м	Площадь, млн км ²		Биомасса:							
			удельная				суммарная			
	1960	2000	г/м ²		%		млн т		%	
			1960	2000	1960	2000	1960	2000	1960	2000
0–200	27.5	27.6	200	139.0	7.6	7.6	5500	3840.8	82.6	58.1
200–3000	55.2	62.11	20	32.2	15.3	17.2	1104	2118.4	16.6	32.0
>3000	278.3	271.65	0.2	2.36	77.1	75.2	56	642.8	0.8	9.9
Мировой океан	361.0	361.36	18.5	18.2	100	100	6660	6602	100	100

наруженным в океане только в последние годы.

Любопытно, что за прошедший 40-летний период средняя концентрация донных организмов и суммарная их биомасса в Мировом океане остались практически прежними. Изменилась только структура количественного распределения — концентрация в различных вертикальных зонах дна, вклад различных глубин океана в общий запас донных организмов.

Максимальное суммарное количество донной фауны (35.1% запасов Мирового океана) сосредоточено в Атлантическом океане (табл.2). На втором месте (31.1% суммарного запаса) — Тихий, далее следуют Северный Ледовитый, Южный и самый бедный — Индийский океан.

Максимальные средние для всего океана концентрации зообентоса наблюдаются в Северном Ледовитом океане, затем следуют Атлантика, Тихий, Южный и Индийский океаны.

В пределах шельфа (0—200 м) максимальный запас зообентоса сосредоточен в Тихом океане (20.57% от мирового), хотя его

средние концентрации максимальны на шельфе Северного Ледовитого океана. Шельф Индийского океана, как и весь океан, относится к самому бедному региону как по запасам, так и по концентрациям.

Максимальные запасы зообентоса в пределах материкового склона (200—3000 м) сосредоточены в Атлантике — 10.97% от мировых, хотя его средние концентрации в этой зоне максимальны в Северном Ледовитом океане. На обширных площадях материкового склона Индийского, Тихого и Атлантического океанов концентрации зообентоса в три раза меньше. Тем не менее на втором месте по запасам донных организмов в этой структурной зоне располагается Тихий, на третьем — Северный Ледовитый, а далее следуют Южный и Индийский океаны, содержащие в пределах материкового склона 7.69, 6.45, 6.07 и 0.88% суммарных запасов зообентоса Мирового океана.

В регионах Северного Ледовитого океана с глубинами более 3000 м концентрации зообентоса (32.44 г/м²) также мак-

симальны относительно других океанов. Тем не менее в процентном отношении к суммарной величине запасов донной фауны на больших глубинах Северный Ледовитый океан значительно уступает лидирующим Атлантическому, Тихому, Южному и даже Индийскому океанам. В абсолютных величинах эти цифры составляют для Северного Ледовитого океана 7.64 млн т и далее соответственно 284.72, 189.08, 117.52 и 46.26 млн т.

97% суммарной биомассы зообентоса (6410.32 млн т) обитает в прибрежной 350-километровой полосе Мирового океана, несмотря на то, что она занимает всего 24% его общей площади. При этом удельная биомасса в циркумконтинентальных зонах составляет 74.6 г/м², в то время как в зоне 350—2000 км от берега она резко снижается до 1.1 г/м², а на удалении более 2000 км — до 0.2 г/м².

На более удаленные от берега участки дна приходится всего 2.5 и 0.4% биомассы донных организмов, хотя площади этих районов (удаление 350—2000 км и более 2000 км) в сумме состав-

Таблица 2

Биомасса зообентоса по вертикальным структурным зонам отдельных океанов (в живом весе)

Океаны	Глубина, м	Удельная биомасса, г/м ²	Суммарная биомасса, млн т	% от Мирового океана
Северный Ледовитый	0—200	322.40	885.60	13.41
	200—3000	107.14	426.00	6.45
	более 3000	32.44	7.64	0.12
	Весь океан	98.00	1319.24	19.98
Атлантический	0—200	132.56	1308.40	19.82
	200—3000	36.18	724.00	10.97
	более 3000	11.68	284.72	4.31
	Весь океан	15.90	2317.12	35.10
Тихий	0—200	140.04	1357.78	20.57
	200—3000	30.16	507.84	7.69
	более 3000	2.78	189.08	2.86
	Весь океан	13.80	2054.70	31.12
Индийский	0—200	52.20	128.20	1.94
	200—3000	33.20	58.00	0.88
	более 3000	2.00	46.26	0.70
	Весь океан	4.40	232.46	3.52
Южный	0—200	102.12	160.22	2.43
	200—3000	53.40	400.86	6.07
	более 3000	2.46	117.52	1.78
	Весь океан	9.80	678.60	10.28

ляют 76% общей площади Мирового океана.

Максимальные запасы зообентоса в 350-километровой циркумконтинентальной зоне сосредоточены в Атлантике (2283.9 млн т), затем следуют запасы Тихого (1992.16 млн т) и Северного Ледовитого (1316.98 млн т) океанов. В Южном и Индийском океанах эти

цифры составляют 621.98 и 195.3 млн т.

Максимальные же концентрации зообентоса в этой циркумконтинентальной зоне характерны для Северного Ледовитого (186 г/м²), а минимальные (32 г/м²) — для Индийского океанов.

Подводя некоторый итог, можно сказать, что сделанные

в этой работе количественные оценки донной фауны со временем могут уточняться и изменяться, особенно в тех районах, где использовалась косвенная информация. Методика исследования позволяет «встраивать» новые данные на карты и в расчеты, тем самым уточняя картину донной жизни в Мировом океане. ■

Литература

1. *Зенкевич Л.А., Филатова З.А., Беляев Г.М., Лукьянова Т.С., Суетова И.А.* Количественное распределение зообентоса в Мировом океане // Бюллетень. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. биол. 1971. №3. С.27—33.
2. *Лукьянова Т.С.* Закономерности географического распределения ресурсов донной фауны по океанам. Автореф. дис. докт. геогр. наук. М., 2003.
3. *Зенкевич Л.А., Баранова Н.Г., Беляев Г.М.* Количественное распределение донной фауны в абиссали Мирового океана // ДАН СССР. 1960. Т.130. Сб.1.

Космические исследования

Тайконавты готовятся к стартам

Китай стал третьей в мире страной, осуществляющей собственную программу пилотируемых космических полетов: 15 октября 2003 г. ракета «Long March-II-F» (в переводе — «Великий поход»), запущенная с космодрома Изюцюань (Сучжоу) на северо-западе Китая, вывела на орбиту посадочный отсек «Shen Zhou-5», на борту которого находился подполковник ВВС Ян Ливэй. За 21 ч 23 мин аппарат совершил 14 оборотов вокруг Земли и 16 октября благополучно приземлился в провинции Внутренняя Монголия. Общая протяженность полета, проделанного тайконавтом (так называют космонавтов в Китае), составила около 500 тыс. км.

Ян Ливэй — один из 14 военных пилотов, некоторое время обучавшихся в российском Звездном городке. Бывшие его дублиеры ныне готовятся к предстоящему полету.

Космический корабль «Shen Zhou» был построен с помощью российских специалистов и основан на конструкции «Союза». Бюджет китайской программы пилотируемых полетов составляет 2.2 млрд долл. США. Следующий запуск по этой программе намечено осуществить через год-два после первого. Предполагается, состыковав два аппарата того же типа, создать миниатюрную космическую станцию с экипажем до шести человек, в числе которых будут и научные сотрудники.

Spaceflight. 2003. V.45. №12. P.488 (Великобритания).

Археология

Мумии найдены в Гималаях

На западе Непала (современное княжество Мустанг) находятся огромные рукотворные пещеры, в которых благодаря суровому климату хорошо сохранились мумифицированные тела умерших. Возраст мумий оценивается более чем в 2000 лет.

Группа немецких и непальских археологов, проводивших исследования, пришла к заключению, что обитавший здесь народ прекрасно приспособился к жестким природным условиям. На протяжении пяти веков люди выращивали зерновые (ячмень, гречиху), разводили коз и лошадей. В определенной степени они владели искусством врачевания, о чем свидетельствуют следы хирургических вмешательств на мумифицированных телах.

Terre Sauvage. 2003—2004. №190. P.17 (Франция).

Организация науки. Астрономия

Астероид стоит награды

За последние годы Земля не раз избегала столкновения с астероидами. Среди них бывали и такие, чье падение на Землю привело бы к немалым жертвам и разрушениям. Далеко не о каждом из астероидов было заранее известно, и чаще всего их открытие происходило почти случайно.

Рамейковская

Эта проблема стала предметом рассмотрения Палаты представителей США. В марте 2004 г. американские законодатели согласились с предложением конгрессмена Д.Рорабахера поставить дело на материальную основу. Отныне ежегодно всякий астроном-любитель, обнаруживший неизвестный до тех пор астероид и проследивший хотя бы часть его орбиты, удостоивается премии. Сумма ее невелика — всего 3 тыс. долл., но ведь она (плюс слава) достается буквально «с небес», причем, как правило, тому, для кого астрономия и без того любимое хобби. В случае открытия за один и тот же год более одного такого космического тела премия вручается тому, чей астероид ярче.

Премия носит имя Чарлза Конрада (Ch.Konrad), ныне покойного астронавта, третьим ступившего на Луну.

Science. 2004. V.303. №5664. P.1609 (США).

Зоология

Морской еж-долгожитель

В список животных-долгожителей включен обитатель Тихого океана красный морской еж (*Strongylocentrotus franciscanus*). До последнего времени максимальная продолжительность его жизни определялась в 15 лет. Однако недавно американские зоологи установили, что скорость роста *S.franciscanus* гораздо меньше, чем полагали ранее. Расчеты показали, что самый крупный из когда-либо пойманных экземпляров этого вида достиг своих 19 см в диаметре, прожив 200 лет.

Остается добавить, что рекорд долголетия (250 лет) для неколонизальных животных сохраняется пока за погонофорами рода *Lamelibrachia*, которые обитают на дне Мексиканского

залива в близком соседстве с месторождениями нефти.

Science et Vie. 2004. №1036. P.24 (Франция).

Организация науки. Климатология

Климат и погода системы Солнце—Земля

Серию исследований, именуемую «Climate and Weather of the Sun—Earth System» (CAWSES), решил провести Научный комитет по солнечно-земной физике. Цель этой новой международной программы — существенно расширить представления о процессах в окрестности Земли и их воздействии на обитателей нашей планеты. Период проведения программы 2004—2008 гг.

Помимо изучения конкретных объектов, влияющих на «космическую погоду», предполагается обучение молодых специалистов в областях солнечной астрономии, гелиофизики, физики и химии атмосферы, геомагнетизма и т.п. Особенно подчеркивается острая необходимость взаимодействия представителей различных дисциплин.

Программа содержит несколько тем. Так, тема «Космическая погода» предусматривает международное сотрудничество в построении карт под названием «Единая Земля» («One Earth Map»).

Штаб-квартира международного комитета по проведению CAWSES находится в Центре космической физики при Бостонском университете (США); председатель комитета по проведению CAWSES — С.Басу (S.Basu), а координатор всей деятельности — специалист по оптической астрономии П.Диггирала (P.Diggirala), оба из Бостонского университета. В комитет входят ученые из Франции, Великобритании, Японии, Китая, Германии, Чехии и других стран; Россию представляет член-коррес-

пондент РАН Л.М.Зеленый, директор Института космических исследований РАН.

Лица и учреждения, заинтересованные в подобных работах и их результатах, могут обращаться по адресу: raju@cawses.bu.edu. Информация о деятельности участников нового проекта размещена в Интернете (сайт www.bu.edu/cawses).

CAWSES News. 2004. V.1. №1. P.1. (США).

Организация науки

Последствия атомной бомбардировки: изучение свертывается?

Еще в 1975 г. в Нагасаки был создан японо-американский Фонд исследования радиационных эффектов. Программой предусматривается постоянное медицинское и психологическое наблюдение за состоянием 280 тыс. граждан Японии, переживших атомную бомбардировку 1945 г., их детей и внуков. Около 40% расходов фонда (40 млн долл./год) возмещаются из бюджета США. Кроме того, фонд содержит банк образцов тканей, взятых у облученных людей, и архив всевозможных документов и свидетельств об этой трагедии.

Однако теперь министерство энергетики США, под чьей эгидой ведется вся связанная с атомными проблемами деятельность фонда, предупредило американских ученых, работающих в Хиросиме и Нагасаки, что их финансирование с 1 октября 2004 г. прекратится; помимо прочего, это привело бы к увольнению 40 специалистов, хорошо знакомых с данными, собранными за 45 лет работы фонда, и к ущербу для построения математических моделей, описывающих отдаленные биологические последствия от облучения, в том числе — его влияние на продолжительность жизни человека.

Science. 2004. V.304. №5667. P.33 (США).

Альтамира — «королева расписных пещер»

К 125-летию открытия пещерного искусства

Е.Г.Дэвлет

125 лет назад в истории культуры человечества произошло знаменательное событие, раздвинувшее ее границы до 16 тыс. лет в глубь веков. На севере Испании, в провинции Сантандер, археолог-любитель Марселино Санс де Саутуола и его дочь Мария открыли замечательные полихромные изображения, скрывающиеся во мраке пещеры Альтамира.

Впервые Саутуола осмотрел расположенную в его владениях пещеру в 1876 г., спустя несколько лет после того, как в ее входовой отверстии чуть не застряла собака местного охотника Модесто Кубильяса Переса. Извлекая пса из расщелины в каменном завале, охотник обнаружил заросший бурьяном вход в пещеру и, как оказалось впоследствии, — в тогда еще не познанный мир первобытного искусства. Вход находится на склоне холма; навес, прикрывавший отверстие, обрушился около 13 тыс. лет назад. Этот заросший эвкалиптами уголок на севере Испании издавна называли Альтамира; такое название стала носить и знаменитая пещера.

При первом ее осмотре Саутуола заметил на стенах отдельные черные знаки, но не придавал этому значения. К счастью, Мар-



Екатерина Григорьевна Дэвлет, доктор исторических наук, ученый секретарь Института археологии РАН, профессор Российского государственного гуманитарного университета. Специалист по ранним формам искусства, а также в области сохранения историко-культурного наследия. Лауреат Фонда содействия отечественной науке в номинации «Молодые доктора наук».

селино Санс де Саутуола был, по словам его внука Эмилио, «просвещенным идальго». Он интересовался различными направлениями научных исследований, в изобилии появлявшихся в последней трети XIX в. под влиянием теории Чарльза Дарвина, выписывал многие научные журналы. Живя в горном местечке Пуэнте-де-Сан-Мигель, Саутуола в свои неполные 30 лет проводил серьезные исследовательские опыты в области энтомологии и ботаники; он собрал прекрасную коллекцию минералов и окаменелостей, делая совершенно неожиданные для своей семьи успехи на научном поприще. Неутолимый интерес к новым открытиям привел его в 1878 г. на Парижскую всемирную выставку, где он оз-

накомился с экспозицией древностей, коллекцией «портативного искусства» (мелкой пластики) и палеонтологическими находками из раскопок во французских пещерах. Уже имея за плечами опыт полевых исследований в нескольких испанских пещерах, он в 1879 г. начал раскопки в Альтамире, надеясь и здесь обнаружить что-либо подобное. Нельзя сказать, что грядущая слава лежала у его ног, скорее она притаилась над головой любителя древностей, на сводах пещеры. Любопытно, что внимание к росписям Альтамиры привлекла его маленькая дочь Мария: пока отец занимался раскопками, девочка бегала по подземелью, легко проникая туда, где взрослому удавалось пройти лишь наклонившись.

© Дэвлет Е.Г., 2004



Марселино Санс де Саутуола — первооткрыватель пещерного искусства.

Наконец, она задрала голову и увидела на одном из сводов красочные фигуры. На потолке небольшого низкого зала словно сгрудились, приняв разнообразные позы, бизоны. Вот как Эмилио говорит о событии, ставшем и трагедией, и триумфом их семьи: «Моя мать, дочь донна Марселино... осветив древние своды маленькой лампой, прокричала ставшую знаменитой фразу: “Папа, гляди, волы!” В некоторых работах встречается утверждение, что во фразе упоминались быки. На самом деле для девочки того времени, выросшей в деревне, именно волком называлось животное, помогающее крестьянам в полевых работах, а слово “бык” ассоциировалось тогда разве что с корридой».

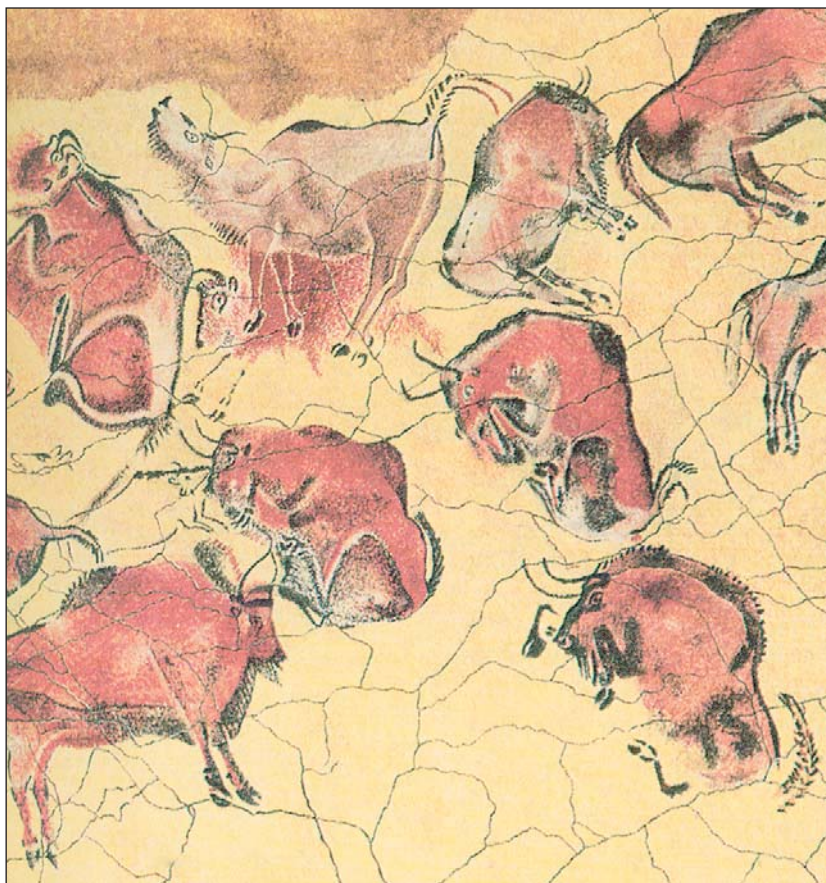
Начало великого открытия было обнадеживающим. Об увиденном Саутуола сообщил профессору Мадридского университета дону Хуану Виланова-и-

Пиера, автору книги «Происхождение, природа и возраст человека». Информация о приезде этого крупнейшего испанского геолога и палеонтолога в Сантандер для осмотра росписей Альтамиры и его заключение о том, что на стенах и сводах пещеры действительно изображены представители ископаемой фауны, попали на первые страницы газет. Вся страна узнала о научной сенсации, многие устремились в Сантандер, чтобы осмотреть росписи. Даже король Испании Альфонс XII посетил Альтамиру и в память об этом визите вывел свечной копотью свой автограф при входе в пещеру. В 1880 г. Саутуола выпустил брошюру «Краткие заметки о некоторых доисторических памятниках провинции Сантандер», в которой сообщил о палеолитическом возрасте росписей Альтамиры, а профессор Виланова прочитал несколько лекций на эту тему.



Мария де Саутуола в восьмилетнем возрасте.

Фрагмент Большого плафона (прорисовка).



Казалось бы, ничто в этой истории не предвещало тех трагических коллизий, которые ожидали Саутуолу, однако научное сообщество не признавало его открытия вплоть до начала XX в. Эмилио пишет, что «с этого знаменательного момента в истории человечества мой дед терпел одни упреки и горести... ученые мужи того времени во главе с французом Мортилье набросились, как дикие звери, на гипотезу моего дедушки и объявили его шарлатаном и лжецом». Незадолго до своей безвременной кончины Саутуола якобы произнес слова: «Горе, которое во мне, пройдет лишь со смертью». История признания Альтамиры столь драматична, что нельзя не возвращаться к страницам этой летописи войны амбиций, знаний и страстей. Рядом со входом в пещеру теперь стоит простой памятник из грубого камня, посвященный памяти Марселино де Саутуола, который открыл для человечества новый мир первобытного художественного творчества.

Залы Альтамиры тянутся на расстояние около 280 м. Многофигурные скопления и отдельные изображения в недрах пещеры сочетают красочные полихромные фигуры с рисунками, выполненными углем, гравировки — с линиями, которые прочерчены пальцами. Объем пещеры можно условно разделить на три части. Первая включает пространство при входе и расположенный в 26 м слева от него отсек с расписным сводом — Большим плафоном. Центральная часть Альтамиры состоит из длинной галереи с несколькими боковыми ответвлениями. В отсеке при входе и в галерее представлено множество изображений быков, бизонов и лошадей, нарисованных черным красителем без использования фактуры стен для придания этим фигурам объема; здесь же встречаются прямоугольные знаки, штрихи, линии, рисунки козлов, животного из семейства кошачьих и др. В са-

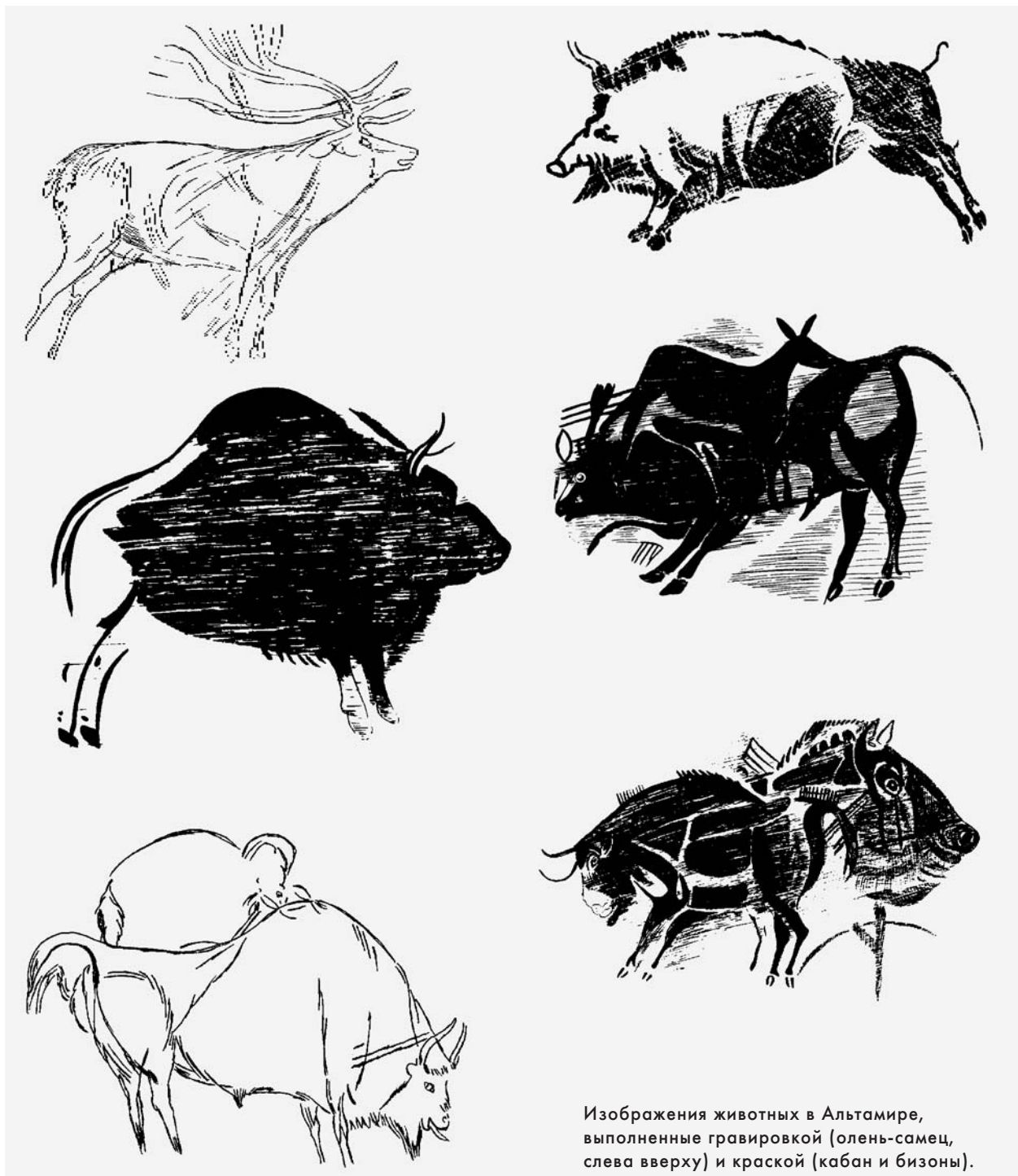
мой глубине пещеры, в третьем ее отделе, находится коридор длиной около 50 м, почти весь покрытый изображениями, среди которых олень-самец, лошади и бизон, несколько знаков четырехугольных очертаний, а также нечто напоминающее человеческие личины. От входа до самого отдаленного участка пещеры располагаются шестьдесят групп знаков, состоящих из точек и штрихов, нанесенных черной краской. В дальнем отсеке есть гравированные изображения, среди которых лошади, мамонт, бизон. При входе в пещеру по своду пальцами прочерчены извилистые линии — так называемые макароны, а также отдельные схематичные фигуры.

Расписной потолок Альтамиры — Большой плафон — одно из самых знаменитых произведений искусства верхнего палеолита, оно выполнено с использованием охры и угля, но благодаря мастерству художника выглядит полихромным. Композиция полосой протянулась в длину на 18 м, а в ширину примерно на 9 м. В древности сюда никогда не проникал солнечный свет. В центре Большого плафона представлены в разных позах 15 бизонов; позади самого крупного бизона-самца находится самка оленя, несколько фигур лошадей, козел; эту группу справа сверху завершает бизон с отсутствующей головой, а еще выше, на периферии, локализуется редкий в наскальном искусстве образ — кабан. Примечательны фигуры бизонов, склонивших головы и подогнувших ноги к животу. На плоскостной копии они смотрятся странновато, но эти позы реалистичны — так животные подолгу лежат на траве.

Специалисты склоняются к суждению, что росписи создавались, как минимум, в четыре этапа. В пещере есть культурный слой, тоже свидетельствующий о разновременных ее посещениях. Знатоки доисторического искусства английский исследо-

ватель и замечательный популяризатор научных достижений Пол Бан приводит мнение испанских художников Педро Сауры и Матильды Мускис, которые копировали росписи Альтамиры, а предварительно долго и кропотливо изучали оригинал, сделав многочисленные фотографии изображений в разных ракурсах и при разном освещении. Это позволило им установить, что потолок первоначально создавался в гравированной версии и лишь затем фигуры наносились в цвете. Им даже удалось выявить несколько неизвестных изображений — и это на хорошо исследованном памятнике, о котором, казалось бы, все уже известно! Самые ранние изображения, как они полагают, — это динамичные и выразительные красные лошади, затем появилась серия полихромных бизонов. Другой рукой выполнен крупный олень и расположенная справа от него изящная голова бизона. Последними создавались гравировки и некоторые росписи. Сравнительно недавно у специалистов появилась возможность, используя аналитическую масс-спектрометрию, датировать непосредственно пигмент, которым выполнены изображения. Методом AMS¹⁴C (для которого требуется отбор лишь крошечного образца угля, не наносящий существенного вреда сохранности изображений) получена серия дат для Большого плафона Альтамиры — они варьируют от 14 820 до 13 130 лет назад; даты изображений, расположенных в других отделах пещеры, имеют более широкие временные рамки — от 16 480 до 14 650 лет назад.

Хотя признание художественной ценности пещерных росписей Альтамиры шло просто, настало время, когда восхищение творчеством древних и желание воочию увидеть эти бесценные шедевры вступили в противоречие с необходимостью заботиться об их сохранности как части культурно-



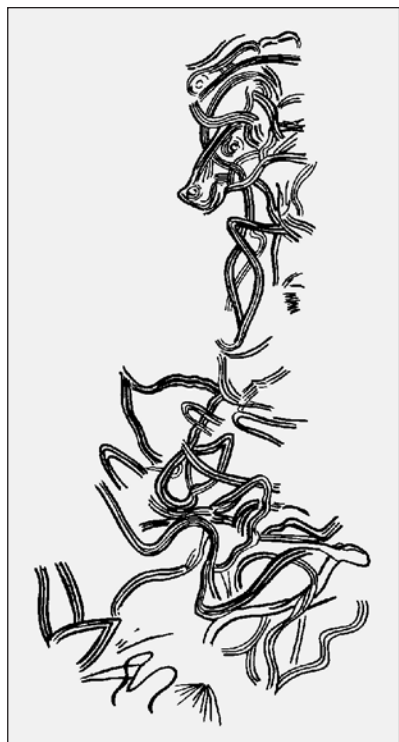
Изображения животных в Альтамире, выполненные гравировкой (олень-самец, слева вверху) и краской (кабан и бизоны).

го наследия. Так, в 1973 г. пещеру Альтамира посетило 177 тыс. человек, что не могло не сказаться на ее сохранности. В 1977 г. Альтамиру для посещения закрыли: было установлено, что огромный туристический поток влияет на климат внутри пещеры. Изменение влажности

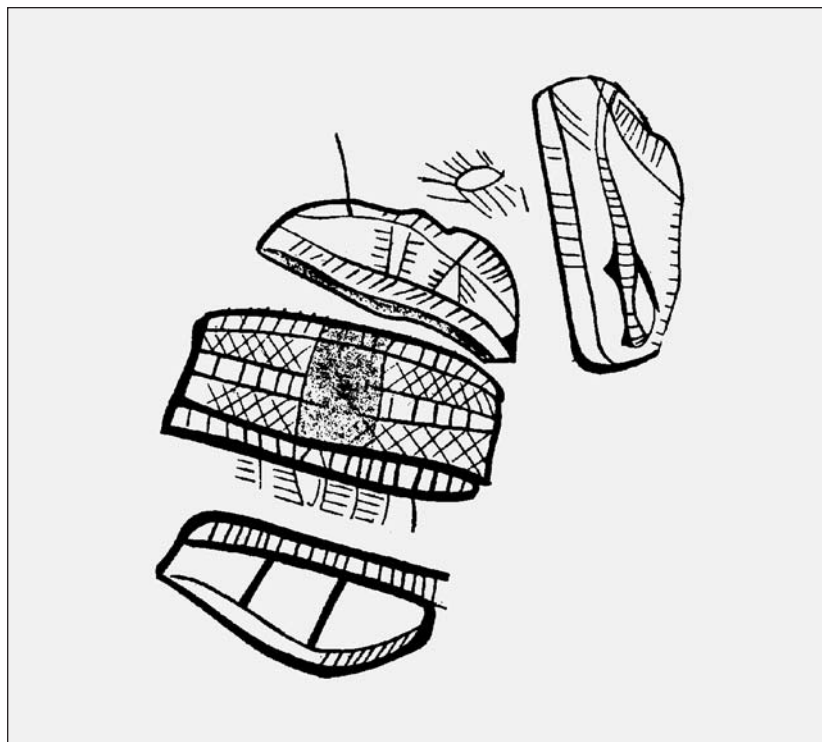
и содержания углекислого газа приводило к деградации пигментов росписей. А некоторые посетители не оставляли попыток отбить на память фрагменты древних изображений, бросая в них, несмотря на ограждение, всякие мелкие предметы, монеты. Поражает бесплод-

ность подобных попыток — люди все равно не смогли бы достать сколотые кусочки из-за ограды.

Долговременные наблюдения специалистов позволили установить оптимальные температуру и влажность, не оказывающие разрушительного воздей-



Линии, прочерченные пальцами по влажной поверхности стены (так называемые макароны).



Знаки.



Бизоны в позе отдыха — фрагмент Большого плафона.

вия на памятник, и в 1982 г. пещеру вновь открыли, но ограничили количество посетителей до 8500 в год, т.е. число потенциальных счастливых сократилось более чем в 20 раз! С начала 1990-х годов стали создавать пещеру-дублер Альтамиру-2. Расположенная неподалеку от подлинной, она выполнена согласно последнему слову техники, но с применением ручного труда. Новейшие технологии использовались для имитации фактуры стен, поддержания прохладного пещерного климата, восстановления первоначального облика привходовой части. Сами росписи создавались так же, как и тысячелетия назад, натуральным пигментом на водной основе. Стены монтировались из полистироловых блоков высокой плотности. Цвет, рельеф и фактура скальной поверхности имитировались составом из смеси известняка и смол (точность гарантируют фотограмметрические данные, фиксирующие каждые 5 мм поверхности оригинала). Использование лака и эпоксидной смолы создает иллюзию, будто с потолка свисают капельки воды.

Постарались воссоздать и древний облик пещеры. Как уже упоминалось, над широким ее входом был утрачен навес; после камнепада в 1924 г. в некоторых галереях Альтамиры были возведены деревянные крепи, затем дополненные подпорами из цемента и камня; вход в Альтамиру был закрыт

железной дверью. Ныне навес при входе реконструирован, а сквозь стеклянные панели посетители видят пейзаж, лишенный современных построек и модификаций. Очевидцы говорят, что не ощущают ни времени, ни того факта, что находятся внутри здания, — так удачно осуществлен проект.

Впрочем, некоторые изменения все же внесены. В ущерб реалистичности, но для удобства посетителей в зале с росписями пол опущен значительно ниже, чем в подлинной Альтамире. Это позволяет туристам входить не наклоняясь, не задирая голову, осматривая росписи. В помещении были установлены кондиционеры, поддерживается постоянная 14-градусная температура. Свет и аудиовидеотехника усиливают эффект реальности, приближая Альтамиру-2 к ее прототипу.

По фотографиям семейная пара художников воспроизвела все гравировки, красочные пятна и высокохудожественные полихромные изображения Альтамиры. Подобно палеолитическим мастерам, наши современники использовали природные краски — оксид железа для красного цвета и уголь для черного; краситель они наносили пальцами, иногда используя кусочки кожи для растушевки краски, гравировки же выполняли камнем с острым краем. Как настоящие копировальщики, Саура и Мускис старались возможно более точно следовать оригиналу в последовательности и направ-

лении нанесения линий, их интенсивности и толщине. Художники воспроизвели 70 гравировок и около 100 фигур животных, выполненных красками на 180 м² потолка.

По словам знаменитого исследователя древнейшего искусства Герберта Кюна, история открытия Альтамиры «походит на роман». Рассказ о «первооткрывательнице» Альтамиры действительно его напоминает. Мария де Саутуола вышла замуж за представителя богатейшего семейства Ботин, фонд этой семьи ныне оплатил большую часть расходов по созданию пещеры Альтамиры-2. 17 июля 2001 г. пещера-копия открыла свои росписи для первых посетителей, которыми стали король и королева Испании. Потомки Дона Марселино чтут память их знаменитого ныне предка, который воспринимал пренебрежение ценностью своего открытия очень болезненно, как личное оскорбление. Теперь его доброе имя восстановлено, а уязвленное самолюбие могло бы торжествовать.

В 2004 г. исполняется 125 лет с начала научного изучения Альтамиры — «королевы расписных пещер», она включена в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, по праву являясь неотъемлемой частью природного и культурного достояния человечества. ■

Автор благодарит Фонд содействия отечественной науке за поддержку исследования.

Литература

1. *García Guinea M.A.* Altamira y otras cuevas de Cantabria. Madrid, 1979.
2. *Дэвлет Е.* Альтамира: у истоков искусства. М., 2004.
3. *Пан П.* Альтамира — «Новая пещера» // Вестник СОИПИ. Кемерово, 2001. Вып.4.

Поля-террасы в Центральном Непале

Г.Ф.Уфимцев,
доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

Террасное земледелие в горных районах Южной и Юго-Восточной Азии составляет важный элемент сельскохозяйственного производства. В местностях с наибольшей плотностью населения, например на островах Ява или Бали,

поля-террасы покрывают практически все склоны. В какой же мере они преобразуют склоновые морфолитосистемы и насколько устойчив этот уже антропогенный ландшафт к внешним воздействиям?

Районы террасного земледелия в тропических и субтропических областях Южной и Юго-

Восточной Азии характеризуются муссонным климатом с резкой сменой дождливого и сухого сезонов. При этом и внешнее воздействие на поля-террасы резко меняется два раза в год.

Долина Катманду и окружающие ее среднегорья Низких Гималаев в Центральном Непале, где мне удалось изучать искус-

© Уфимцев Г.Ф., 2004



Поля-террасы на левобережье р.Багмати у южной окраины Катманду.

Здесь и далее фото автора



Небольшой оползень на уступе полей-террас.



Растрескивание рыхлого грунта вблизи уступов полей-террас с образованием комковатой структуры.



Шелушение поверхности уступов полей-террас в сухой сезон.



После первого полива борта междугрядовых проходов на поле затянuty зеленоватой водорослевой паутиной.

ственно террасированные склоны, располагаются в окраинной полосе воздействия южноазиатского муссона. Я дважды проводил наблюдения в сухой период (в феврале). Пожалуй, именно в это время экзогенные процессы на уступах полей-террас проявляются максимально.

Днище Долины Катманду располагается на высотах 1250—

1300 м и составлено холмоподобными террасовыми поверхностями, разделяющими узкие долины притоков р.Багмати, которая ниже по течению прорезает хребет Махабхарат. На запад и восток оно продолжается относительно широкими долинами рек Трисули и Индравати, обрамленными среднегорными ступенями. Это так называемый

мидленд — пониженная ступень гор между Низкими и Высокими Гималаями. Здесь наиболее высокая плотность населения и наиболее интенсивное использование террасовых уступов. Угол крутизны склонов среднегорных массивов обычно более 30—35°. Они рассечены густой сетью лощин и распадков. Склоны сложены толщей лессовид-



Растрескивание рыхлого грунта с образованием зияющих трещин.



Небольшой оползень, заложенный в толще покровных суглинков.

ных, палево-серых суглинков. Условия залегания, состав, способность образовывать вертикальные стенки — все это говорит об их преимущественно эоловом* происхождении. Алеврит-пелитовая фракция таких пород составлена гидрослюдами, тонкодробленным кварцем и полевым шпатом и даже после тщательной промывки содержит значительные количества (до 2.5%) органического материала.

Сельскохозяйственные поля вырезаны в лессовидных суглинках уступов и редко укреплены каменной кладкой. При выработке полей-ступеней на террасовых поверхностях днища Долины Катманду, в ее краевых частях, снимаемый слой суглинков идет на изготовление кирпича (то же самое я видел на

* Эоловые процессы — процессы рельефообразования, обусловленные деятельностью ветра.

лессовом плато Китая). Если возможен выбор, в сельскохозяйственное производство привлекаются склоны, обращенные к главным долинам, имеющие облик крутых треугольных граней или половинок продольно разрезанных конусов. На таких склонах, скорее всего, не происходит концентрации поверхностного стока во время сезона дождей. Защитную функцию несет, видимо, и преимущественное освоение верхних частей склонов и гребней между речей в среднегорном рельефе — за исключением крупных долин (Трисули, Кали-Гандак и др.) с высокой плотностью населения.

Обратим внимание на одну интересную деталь: крупные обвалы обводненных грунтов довольно обычны на крутых естественных склонах, но они крайне редки на террасированных

уступах. Этим, возможно, объясняется геоморфологический выбор при заложении там сельскохозяйственных полей.

На горных склонах средняя высота террасированных уступов составляет около 2 м, а ширина самих полей не превышает 1.5—2 м. Покровные суглинки уступов постоянно уплотняются или обтесываются под ударами лопат, т.е. уступы отступают параллельно самим себе под действием антропогенного фактора. Но наиболее сильно на них воздействуют, конечно, природные явления. Часто встречаются здесь оползни с амплитудой смещения до 0.5 м. Протяженность их достигает нескольких метров, а толщина смещенного блока редко превышает один. Как правило, такие небольшие оползни наблюдаются не на горных склонах, а уже в днище долины, на склонах холмистых

возвышенностей, т.е. там, где, видимо, насыщенность грунтов влагой в сезон дождей максимальна.

Развитию оползней (а также осыпанию уступов) способствует и трещиноватость, возникающая при высыхании покровных суглинков в сухой сезон. Встречаются два типа трещин: субвертикальные, параллельные уступу и растрескивающие грунтовую массу на пластинчатые блоки толщиной в несколько десятков сантиметров, и хаотические, с открытыми полостями, придающие грунту комковатую структуру. Трещины первого типа провоцируют появление оползней, а второго — вообще дезинтегрируют грунт и увеличивают его способность к поглощению в дождливый сезон и осыпанию в сухой.

Другие виды денудации* полей-террас, встречающиеся в Центральном Непале, достаточ-

* Снос, удаление продуктов выветривания.

но экзотичны. На крутых (часто вертикальных) уступах сильно увлажненный грунт оплывает, и тогда на поверхности возникают мелкие грунтовые капли («грунтовые слезы»), обычно формирующие ажурные гирлянды с довольно симметричным рисунком.

Кроме того, в сезон дождей уступы террас покрываются тонкой водорослевой пленкой-паутиной, проникающей в покровные суглинки на глубину в несколько миллиметров. В сухой период эта водорослевая паутина с захваченной минеральной массой растрескивается и, подобно поверхности такыров, распадается на тонкие лепешковидные пластинки. При дальнейшем высыхании их края загибаются, и пластинки отрываются от поверхности. Следы этого явления встречаются в Непале практически везде, где уступы полей не прикрыты густым травяным покровом.

Именно процесс такого «шелушения» определяет главные

черты денудационного развития уступов полей-террас. В условиях муссонного климата (с чередованием влажного и сухого сезонов) «шелушение» приводит к отступанию уступов при сохранении их морфологических и метрических параметров.

Водорослевая паутина, однако, способствует и сохранению крутых откосов в период дождей. Я наблюдал, как после первого полива на бортах междугрядовых проходов быстро формировалась водорослевая паутина, придававшая им зеленноватый оттенок. Она, видимо, эффективно препятствует размыву полей-террас. Может быть, именно поэтому в Центральном Непале редко удастся видеть на уступах промоины и прислоненные к ним небольшие конусы выноса. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-05-64022.

Ученые Калифорнийского университета установили, что основная причина гибели птенцов темнопинных альбатросов (*Diomedea immutabilis*), населяющих атолл Мидуэй (Гавайские о-ва), — отравление свинцом. Он попадает в организм птиц, когда те поедают кусочки засохшей краски, падающие с крыш и стен брошенных казарм (до середины 1990-х годов здесь располагалась военная база США). Ныне атолл имеет статус природоохранной территории: здесь гнездится и размножается более 70% всех темнопинных альбатросов.

Terre Sauvage. 2003. №187. P.16 (Франция).

Администрация США намерена наращивать эксплуатацию

нефтяных и газовых месторождений в прибрежных водах Аляски. В предстоящие пять лет предполагается заключить восемь контрактов на их разработку. Одно из таких месторождений, площадью в 3,8 млн га, расположено в море Бофорта. Геологи оценили его запасы в 7 млрд баррелей нефти. Поскольку предстоящие работы несовместимы с туристическим бизнесом и рыбным промыслом (шум и яркое освещение буровых платформ отпугивают китов и белых медведей), это вызывает недовольство местного населения.

Terre Sauvage. 2003. №189. P.18 (Франция).

С 2004 г. ведется сооружение российского космодрома во Французской Гвиане (Южная

Америка). Он находится рядом со стартовым комплексом Куру, который принадлежит Франции и Европейскому космическому агентству. Отсюда осуществятся запуски ракет типа «Ariane». Расположение космодрома вблизи экватора позволяет выводить на орбиту полезные грузы большой массы.

Строительство оплачивается Европейским космическим агентством; Россия возместит часть расходов, запуская коммерческие спутники с помощью своей надежной ракеты «Союз», которая способна выводить на геостационарную орбиту полезный груз до 1500 кг. Начать запуски с российского космодрома в Куру планируется в декабре 2006 г.

Spaceflight. 2003. V.45. №12. P.493 (Великобритания).

ЭПИЗОДЫ РОЖДЕНИЯ «СЛОЙКИ»

Член-корреспондент РАН В.И.Ритус
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
Москва

Прошло более полувека со дня испытания первой отечественной водородной бомбы, проведенного 12 августа 1953 г. Оно подтвердило правильность принципиально новых физических идей, заложенных в конструкцию бомбы, и методов расчета протекающих в ней сложнейших процессов. Страна стала обладать реальным образцом термоядерного оружия, а коллектив создателей «слойки» приобрел бесценный опыт.

Один из непосредственных участников подготовки этого события, Владимир Иванович Ритус, предложил нашему журналу два своих доклада, которые печатаются в этом номере. Первый, «Годы штурма и натиска», был прочитан 21 мая 2001 г. в Сарове на заседании Научно-технического совета-2 Минатома России, посвященного 80-летию со дня рождения А.Д.Сахарова. Второй, «История одного задания», приурочен к юбилею первого испытания «слойки» и прочитан там же 13 августа 2003 г.

Оба выступления подчеркивают роль и участие самого молодого поколения научных сотрудников в создании водородной бомбы, их взаимоотношение с руководителями и коллегами старших поколений.

Годы штурма и натиска

Этот день* для меня знаменателен тем, что ровно 50 лет тому назад я присутствовал на дне рождения у Андрея Дмитриевича, на его 30-летию, в его коттедже. А приехал я на объект буквально двумя неделями раньше, где-то между 1—2 и 9 мая или, может быть, сразу после 9 мая. Я не был знаком до этого с Андреем Дмитриевичем, хотя свою дипломную работу, экспериментальную, я делал в ФИАНе, в лаборатории И.М.Франка, и с теоретиками не то что был знаком, но многих знал в лицо — Ю.А.Романова с его вечно развязанными ботинками, Е.С.Фрад-

кина, ходившего в военной гимнастерке и шинели, В.Я.Файнберга, известного комсомольского деятеля, а из старшего поколения — В.Л.Гинзбурга, Е.Л.Фейнберга, М.А.Маркова. Только Моисея Александровича я хорошо знал лично, так как он читал нам лекции по теории ядра, и, как позднее выяснилось, именно он рекомендовал меня Игорю Евгеньевичу Тамму для работы на объекте.

Поэтому когда я приехал на объект и встретился здесь не только с Романовым, но и со своими однокурсниками — Ю.Н.Бабаевым, Л.П.Феоктистовым, Н.А.Поповым, а также экспериментаторами — Е.К.Бонюшкиным, А.М.Воиновым, М.П.Шумаевым и их женами, то я почув-

ствовал себя среди друзей. Но, к сожалению, Андрея Дмитриевича и Игоря Евгеньевича я не знал тогда, хотя моя дипломная работа в ФИАНе продолжалась более двух лет. Свою первую встречу с Андреем Дмитриевичем я описал в журнале «Природа» (1990. №8) и не буду ее здесь повторять.

И вот по прошествии буквально двух недель после моего приезда оказывается, что у Андрея Дмитриевича день рождения и он приглашает, в частности, и меня. В его коттедже собралось примерно 15—20 молодых теоретиков. Почему-то не было Якова Борисовича Зельдовича. Мне запомнился большущий пирог, который испекла Клавдия Алексеевна, и 30 свечей

* 21 мая 2001 г. — *Примеч. ред.*



В.И.Ритус. Саров. 1953 г.

вокруг него. Я знал об этом обычае, но не видел его раньше, свечи были зажжены, потом Андрей Дмитриевич их тушил, ему помогали. Вечер мне очень понравился, было много веселого и остроумного. И вина тоже. Возможно, поэтому через некоторое время я почувствовал необходимость выйти на улицу подышать свежим воздухом. Была теплая, почти южная звездная ночь. Я шел по нынешней улице Сахарова сюда к генеральскому коттеджу. Вдруг слышу сзади шаги, оглядываюсь, меня догоняет Андрей Дмитриевич: «Володя, как вы себя чувствуете?» Я был

тронут его вниманием. Мы погуляли немного и вернулись.

Да, меня тронул этот эпизод, в нем проявилась интеллигентность Андрея Дмитриевича, его внимание к недавно приехавшему и еще мало знакомому ему человеку, ведь он мог бы и не приглашать меня. Было что-то приятное и в том, что ему, как и мне, захотелось побыть одному, и он вышел немного пройтись.

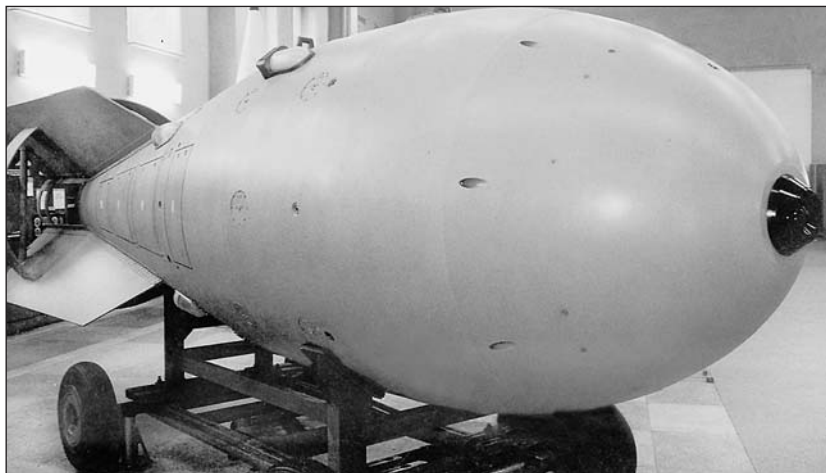
Теперь я расскажу о том, чем мы занимались в те четыре года (1951—1955), когда я работал на объекте. Как правило, я работал вместе с Романовым, и мы написали вместе примерно 10 отчетов. Основным нашим занятием было детальное исследование этой второй идеи, по нынешней терминологии, — идеи использования Li^6D . Мы смотрели, как повысится КПД, если некоторое количество дейтерия заменить тритием. Уже тогда было известно, что сечение TD-реакции в 100 раз больше сечения DD-реакции. Или что произойдет, если естественный литий не будет полностью очищен от основного седьмого изотопа, будет плохо очищен, так что концентрация Li^6D станет сравнима с концентрацией Li^7D . Мы занимались подобными расчетами энерговыделения.

И вот проходит некоторое время, и вдруг (по-моему, в конце 1951 г., а может быть, в нача-

ле 1952-го) в кабинете у Ю.Б.Харитона созывается большое совещание, куда приглашают и нас с Романовым. Когда я туда пришел, то увидел очень большой кабинет, в котором до этого никогда не был, и большую группу начальников разных лабораторий, отделов и т.д. Среди них мы с Юрой оказались, по-видимому, самыми молодыми людьми. И там впервые я увидел И.В.Курчатова. Он приехал вместе со своей свитой. Тут же потихоньку среди присутствующих стало распространяться его прозвище Борода. Правда, его борода на меня не произвела должного впечатления, она была очень жиденькой. Сейчас могу добавить, что в памяти осталось его красивое, интеллигентное лицо, высокий рост и отсутствие интонаций большого начальника.

Чем же знаменательно это совещание вообще, и для меня в частности? А тем, что оно было посвящено проблеме Li^6D , которой Романов и я занимались. Конечно, нас послал на это совещание Андрей Дмитриевич, и, конечно, все наши цифры он докладывал. Но именно он пожелал, чтобы мы присутствовали на этом важном совещании, хотя мы там и рта не открыли. Зал был полон, все сидели, образуя полукруг, но пространство в центре и за креслами возле стен оставалось свободным. Курчатова один ходил по этому свободному пространству, сначала ему докладывал Харитон, потом Андрей Дмитриевич. И, в частности, произошла такая сцена. Курчатова остановился за моим стулом и, облокотившись на его спинку, стал тоже о чем-то говорить. Его борода стала касаться моей тогда еще имевшейся небольшой шевелюры. Мне казалось, что все смотрят на меня, и я не знал, куда деваться.

Конечно, эта сцена запомнилась, но запомнилось и другое. А именно, эпилог этого совещания, который был таким. Доводы, касающиеся Li^6D , были очень существенными, Курчатова



Первая в мире водородная бомба — так называемая «слойка».



А.Д.Сахаров и И.В.Курчатов.
1958 г.



И.Е.Тамм и В.Л.Гинзбург спустя
годы после работы над атомным
проектом. Москва. Примерно
1965 г.

их принял и сказал буквально следующее, эти слова у меня отпечатались: «Ну что же, тогда я буду входить в правительство с предложением о строительстве литейного завода». После этих слов стало ясно, что литий производился, по-видимому, в лабораторных условиях, а Li^6

если и выделялся, то в микроскопических количествах. Тут же речь пошла о том, что этот завод будет заниматься не только производством самого лития, но и выделением его шестого изотопа — Li^6 . Короче говоря, я вышел с этого совещания и, наверное, Романов тоже, с чувст-

вом, что мы причастны к большому государственному делу.

Проходит некоторое время, может быть несколько месяцев. Вдруг в первой половине дня раздаётся телефонный звонок, звонит секретарь Юлия Борисовича. Пожилые люди помнят, что секретари Харитона в то время



В.И.Ритус с женой и Д.В.Ширков. Теберда. 1956 г.

Л.П.Феоктистов и Сусанна Анисимовна Червякова, врач-хирург на объекте, будущая жена Ритуса. 1953 г.

назывались Федоровичами, потому что одного из них звали Федор Федорович, а отчества остальных были тоже Федорович. Вот один из них звонит мне и говорит: «Владимир Иванович, с вами хотел бы побеседовать Юлий Борисович. Вы не могли бы прийти в 3 часа к нему на завод». Ну, конечно, все это время я был взвинчен и не знал, о чем пойдет речь. Примерно за час или полчаса до 3-х снова раздастся звонок от Федоровича, он извиняется и говорит: «Юлий Борисович, к сожалению, не может принять вас в 3 часа, у него появились неотложные дела, не могли бы вы прийти к нему в 5 часов». А 5 часов — это конец работы. Ну, конечно, могу, господи боже мой!

Я прихожу в 5 часов. Действительно, никого, кроме меня, у Юлия Борисовича нет, и он час со мной беседует, и действительно по делу. Вот по тому самому делу, которым я занима-

юсь, а не по каким-то там социальным вопросам, как вам тут дышится, нравится и т.п. Он спрашивает о литиевом, тритиевом деле, которым мы занимаемся. Мне это, конечно, очень польстило, но запомнилась последняя фраза, которой закончилась беседа. Я к нему пришел в 5 часов, разговор продолжался максимум час с небольшим. Поэтому было, может быть, начало 7-го. Он говорит: «Владимир Иванович, время позднее, я вызову машину, вас подвезут».

Честно говоря, мне эта фраза показалась необычной и странной: неужели нужно вызывать машину для меня, ведь до гостиницы, где я жил, 15–20 минут ходьбы. Я, конечно, отказался и в течение многих лет после этого считал, что для такого интеллигентного человека, как Юлий Борисович, эта фраза просто естественна. Но не так давно я сопоставил эту беседу с другим событием. Вы, навер-

ное, знаете, что здесь на объекте была авария с ФИКОБЫНОм*, а может быть, даже не одна, но та авария, о которой я говорю, произошла в то время, когда начальником ФИКОБЫНа был Виктор Юлианович Гаврилов, и Гаврилов был вынужден уйти с этого поста. И он предложил мне заменить его. Но для меня это означало перейти из теоретиков в экспериментаторы. Совсем недавно я был дипломником-экспериментатором, здесь меня сделали теоретиком, и переходить снова в экспериментаторы мне, естественно, не хотелось. Я немедленно отказался. Теперь я подумал, не было ли в той последней фразе Харитона насчет машины процентов на десять какого-то юмора, маленькой подковырочки. Возможно, он разговаривал с Виктором Юлиановичем относительно его замены и для себя ре-

* Имеется в виду физический котел на быстрых нейтронах.

шил: если Ритус согласится на машину — можно делать его начальником, если нет, то нельзя. Я не согласился, и предложения не последовало.

Теперь несколько слов об авторитете Андрея Дмитриевича не только у нас здесь на объекте, но и вне его. В то время мы составляли разные задания, требующие решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, и посылали их в группу Л.Д.Ландау и группу А.Н.Тихонова—А.А.Самарского. Как правило, одно и то же задание дублировалось и одновременно посылалось в ту и другую группы, они решали их своими методами, а мы потом сравнивали результаты — одно и то же они получают или нет. Однажды Андрей Дмитриевич составил эскиз такого задания, а меня попросил проверить его и дополнить разными подробностями — написать значения различных констант, указать, какие частные случаи нужно рассмотреть и т.п., что я и сделал. Но оказалось, что он опустил некий член в уравнениях, а я по своей неопытности, конечно, его тоже просмотрел. Примерно через месяц это обнаружилось, я пришел к Андрею Дмитриевичу и сказал ему, что нужно немедленно послать исправление. А он мне говорит: «Вы знаете, там люди опытные, они сами этот член восстанавливают, ничего, не беспокойтесь». Но тем не менее, ему не терпелось узнать промежуточные результаты, связанные с выгоранием лития, который был там предусмотрен, и он послал меня в командировку в ту и другую группы. Я приехал в Институт физических проблем, где работала группа Ландау, и, помню, произошла такая сцена. Я должен был прежде всего встретиться с Ландау, которого никогда до этого не видел. Поэтому Романов перед поездкой мне его подробно описал. Ландау меня встретил, провел в помещение своей группы и, оставляя в пустой комнате, сказал: «Сейчас я познакомлю

вас с нашими ребятами». Ну, ребята, так ребята, мне тогда тоже было лет 25, не больше. Вдруг в комнату вбегают двое — один совершенно лысый и другой с пушком еще на голове. Но раз Ландау сказал «ребята», то я с ними спокойно разговариваю, говорю, для чего приехал, выпысываю те самые промежуточные результаты. Они очень интересуются, зачем нужны именно эти данные. Но поскольку дело наше секретное, то пришлось сказать что-то неопределенное. Тогда они начинают спрашивать об Андрее Дмитриевиче. Конечно, они о нем многое уже слышали и им почему-то очень хотелось, чтобы у него в основном инженерная жилка была. И они начинают меня спрашивать, каков он как физик-теоретик. А я был тогда просто восхищен Андреем Дмитриевичем, и это чувство, естественно, пересказываю им. Только впоследствии я узнал, что Ландау присваивал великим ученым-физикам всего мира «звездные» номера. Вы знаете, что звезда первой величины — это очень яркая звезда, звезда второй величины — менее яркая и т.д. Эйнштейну, Бору и Ньютону Ландау присвоил половинную величину — 0.5. Дирак, Гейзенберг — это звезды первой величины. Себе он присваивал вторую величину. Эти так называемые ребята (их фамилий я не знал до самого конца, а о конце я расскажу) пытались связать с Андреем Дмитриевичем какую-то цифру, я этого не понимал и понял только впоследствии, когда мне в группе Тамма рассказали об этой классификации Ландау.

Кроме того, произошла такая сцена. Естественно, я сказал им, что мы забыли некий член в уравнениях и хотели прислать исправление, но Андрей Дмитриевич уверил меня, что вы с этими уравнениями дело имели и восстановите его. Они так обрадовались, что он предвосхитил события (а они действительно восстановили этот член) и тем самым достойно оценил

их квалификацию, прямо расцвели улыбками.

Кроме того, они интересовались не только Андреем Дмитриевичем, но еще и некоторыми женщинами, которые раньше работали в Институте химфизики, а потом оказались здесь на объекте. Ну, тогда все были молоды и такой интерес естествен. (*Обращение к залу: к сожалению, Елены Михайловны Барской, по-моему, нет здесь, — так вот они в особенности ею интересовались.*)

По окончании моей миссии между ними возникает некая дискуссия — кто будет подписывать мне пропуск. Оказывается, что один из них — это будущий академик Е.Л.Лифшиц, а другой — будущий академик И.М.Халатников. Вот кто были эти ребята.

Теперь еще один из эпизодов. Как-то внезапно и даже не помню, в какое время, кажется, это была середина или вторая половина 52-го года, нас с Романовым посылают в командировку в Москву, к Курчатову. Зачем, почему, непонятно. Я думаю, в то время и твою фамилию, Юра (*автор адресует к Ю.А.Романову*), Курчатов не знал, а мою тем более. (*Романов: «Знал, знал». Ритус: «Ну, не знаю, может после узнал».*) Но во всяком случае едем в Москву, приезжаем в Курчатовский институт (тогда ЛИПАН), и приходим в его кабинет. Кабинет грандиозный, т.е. таких кабинетов я уже более никогда не увидел; у Харитона здесь большой кабинет был, но там это был гигантский кабинет.

Но более всего меня поразило то, что в разговоре с нами Курчатов дает нам некое задание. Я всегда считал, что он организатор науки, вот строительство литиевого завода, это понятно. А тут он дает нам задание провести расчет, оценить что-то такое. При этом называет нас ребятами, это еще полбеды, но когда он Романова назвал на ты, а потом и меня, то меня это покорило, и я стал думать, как среагировать на это не совсем

вежливое ты. Из головы не выходил пример разговора с Юлием Борисовичем. Но пока я думал, он второй раз назвал меня на ты вполне добродушно, и я, решив, что он мне в отцы годится, успокоился. Вот эта деталь запомнилась, запомнился висевший в его кабинете большой портрет Сталина, во весь рост, в сапогах. А также запомнилось то, что во время нашей беседы вошел Л.А.Арцимович и начал тихо разговаривать с Курчатовым в нашем присутствии, потом они вдруг открыли потайную дверь, о существовании которой мы с Романовым и не подозревали, зашли в помещение за ней и там беседовали. Потом Арцимович ушел. Задав нам это задание, сущность которого я, к сожалению, совершенно не помню, Курчатов, как я теперь думаю, хотел проверить достоверность каких-то данных об энерговыделении (иначе зачем он вызвал именно нас), полученных, возможно, из-за границы. Мы с Романовым сидели в какой-то секретной комнате, принадлежащей первому отделу, и проводили расчеты. Возможно, наши записи где-то сохранились. Каково же было наше удивление, когда мы пришли и стали докладывать Курчатову свои результаты — он остался недоволен! «Нет, я неудовлетворен, завтра приедете и продолжите расчеты». На следующий день мы снова считали и в конце концов как-то удовлетворили его. Я думаю, что наши первоначальные результаты либо не совпадали с его ожиданиями, либо он хотел убедиться, что мы не сделали ошибок. Однако я уверен, что мы проверяли не его собственные идеи.

(Г.А.Гончаров: «Когда это было?»)

Ритус: «Это было..., не могу вспомнить. Вот тебе бы нужно раскопать Курчатовский архив, понимаешь».

Чей-то голос: «По-моему, он уже все раскопал».

Ритус: «Неужели эти записи наши, которые делались в

сверх-сверхсекретной обстановке, там не остались? Эти расчеты... или он их тут же уничтожил? Может быть такое?»)

Теперь в заключение мне хотелось бы сделать некоторое собственное замечание по поводу LiD. Точнее, два замечания.

Во-первых, после того как в 53-м бомба была взорвана, то пошла речь о присуждении премий, и Андрей Дмитриевич писал отзывы о людях, внесших тот или иной вклад. И в частности, он писал отзыв о Гинзбурге. И я помню, хотя у нас не было специальной беседы об этом, но по случайным разговорам с Сахаровым я чувствовал, что какое-то начальство желало принизить вклад Гинзбурга — его идею использования Li⁶D. Андрей Дмитриевич, наоборот, прикладывал усилия, чтобы его вклад был достойно оценен. Как известно, Гинзбург получил вторую премию.

(Голос: «Первую».

Ритус: «Первую? А мне кажется, вторую».

Р.И.Илькаев: «Сейчас проверим».)*

Теперь мое второе замечание о LiD. Когда я приехал на объект, то уже было ясно, что нужно работать с LiD. И после того, как более 10 лет тому назад наступили новые времена и я написал свои воспоминания об Андрее Дмитриевиче в журнале «Природа», мне захотелось узнать что-то большее об этом периоде «бури и натиска», в котором я оказался. Я, конечно, беседовал с Виталием Лазаревичем и дважды, с интервалом в год или два, спрашивал его, кто вообще предложил использовать именно дейтерид лития, т.е. твердое вещество, а не тяжелую воду. Он сказал: «Я не знаю». Иными словами, свой вклад Гинзбург видит в следующем: кто-то уже сказал, что дейтерий нужно вносить в виде дейтерида лития — твердого вещества, а не в виде тяже-

* Действительно, Гинзбург получил первую премию, хотя и значительно меньше, чем Сахаров. — *Примеч. автора.*

лой воды. Он же посмотрел литературу и увидел, что если кислород воды никак не реагирует ни в термоядерном, ни в нейтронном смысле, то шестой изотоп лития охотно делится нейтроном $n + \text{Li}^6 \rightarrow \text{He}^4 + t + 4.8 \text{ МэВ}$ с выделением энергии. Более того, образующийся тритий вступает в термоядерную реакцию с дейтерием и снова с выделением энергии: $t + d \rightarrow n + \text{He}^4 + 17.6 \text{ МэВ}$. Тогда он еще не знал о приятном сюрпризе — сечение этой реакции в 100 раз больше сечения dd-реакции. Таким образом, предложение Гинзбурга состояло в том, чтобы очищать литий от его основного, седьмого, изотопа и вносить дейтерий в виде твердого вещества Li⁶D.

Что же касается самой идеи использовать в качестве носителя дейтерия твердое вещество — дейтерид лития, а не тяжелую воду, то в какой-то степени она тривиальна. Почему? Потому что в любом химическом справочнике или даже Большой советской энциклопедии в статье на слово «литий» написано, что гидрид лития используется для безбаллонной транспортировки водорода. Иначе говоря, если вы хотите перевезти из одного места в другое какое-то количество водорода, то вместо того, чтобы везти сжатый водород в баллоне, удобнее взять твердое вещество — гидрид лития, перевезти его в нужное вам место, полить его там водичкой, и один килограмм LiH даст вам 2.8 кубических метра водорода.

Более того, еще в 1947 г. в отчете Я.Б.Зельдовича, С.П.Дьякова и А.С.Компанейца дейтерид лития рассматривался вместе с дейтерием как термоядерное горючее для осуществления детонации, причем имелся в виду дейтерид лития-7, так как, по сведениям авторов, сечение реакции $\text{Li}^6 + D$ было малым по сравнению с сечением реакции $\text{Li}^7 + D$. Не исключено, что предложение об использовании дейтерида лития исходило из этой группы.

История одного задания

*Я — лежу в пристрелянном кювете,
Он — с мороза входит в теплый дом.*
А.Межиров

В 1991 г. я прочел «Воспоминания» Андрея Дмитриевича Сахарова, опубликованные в журнале «Знамя». Следующий текст вновь окунул меня в суровую атмосферу секретности, в которой все мы находились, работая на объекте в Сарове. Сахаров пишет:

«С первых дней работы группы Тамма в ФИАНе нам пришлось привыкать к совершенно непривычным для нас условиям секретности. Нам была выделена комната, куда, кроме нас, никто не имел права входить. Ключ от нее хранился в секретном отделе. Все записи мы должны были вести в специальных тетрадях с пронумерованными страницами, после работы складывать в чемодан и запечатывать личной печатью, потом все это сдавать в секретный отдел под расписку. Вероятно, вся эта торжественность сначала нам немного льстила, потом стала рутинной. Но иногда она оборачивалась и трагедией.

Через несколько лет, когда я уже был на объекте, мой сотрудник послал на листке задание в Институт прикладной математики, в котором для нас проводились численные расчеты. Повидимому, машинистка института сожгла этот листок (после использования), не зарегистрировав его. Для расследования ЧП («чрезвычайного происшествия») из министерства приехал начальник секретного отдела — человек, вызывавший у меня физический ужас уже своей внешностью, остановившимся взглядом из-под нависших век; в прошлом он был начальником Ленинградского управления ГБ в момент так называемого «Ленинградского дела»,

когда там было расстреляно около 700 высших руководителей. Он говорил почти час с начальником секретного отдела института (содержание их разговора осталось неизвестным), дело было в субботу. Воскресенье институтский начальник провел со своей семьей; с детьми, говорят, был весел и очень ласков. В понедельник он пришел на работу за 15 минут до начала работы и раньше, чем пришли его сотрудники, застрелился. Машинистку арестовали, она находилась в заключении больше года (может, двух — не помню)» [1].

Так как я работал под руководством Сахарова с мая 1951 г. по апрель 1955 г. и узнал об этом трагическом событии только из его «Воспоминаний», то решил, что оно произошло уже после моего отъезда из Сарова.

Через 10 лет — в 2001 г. — у меня в руках оказалась книга известного историка науки Г.Е.Горелика «Андрей Сахаров: Наука и Свобода»*. Она основана на многочисленных интервью, проведенных Гореликом с коллегам, друзьями и близкими Андрея Дмитриевича, а также на некоторых опубликованных и архивных материалах. Горелик брал интервью и у меня. Это происходило в 1992 г. на квартире Ирины Витальевны Гинзбург, которая, как и Горелик, была научным сотрудником Института естествознания и техники. Интервью продолжалось более двух часов, записывалось видеокамерой, но у меня, к сожалению, не осталось никаких

* В нашем журнале была опубликована рецензия на нее. См.: *Альциулер БЛ.* Скучно без Сахарова // *Природа.* 2002. №1. С.83—89.

связанных с ним материалов. Поэтому когда Горелик подарил мне свою книгу, я прежде всего посмотрел те ее места, которые так или иначе связаны с моим именем. Некоторые неточности меня огорчили. Их не было бы, если бы я видел рукопись книги до ее публикации.

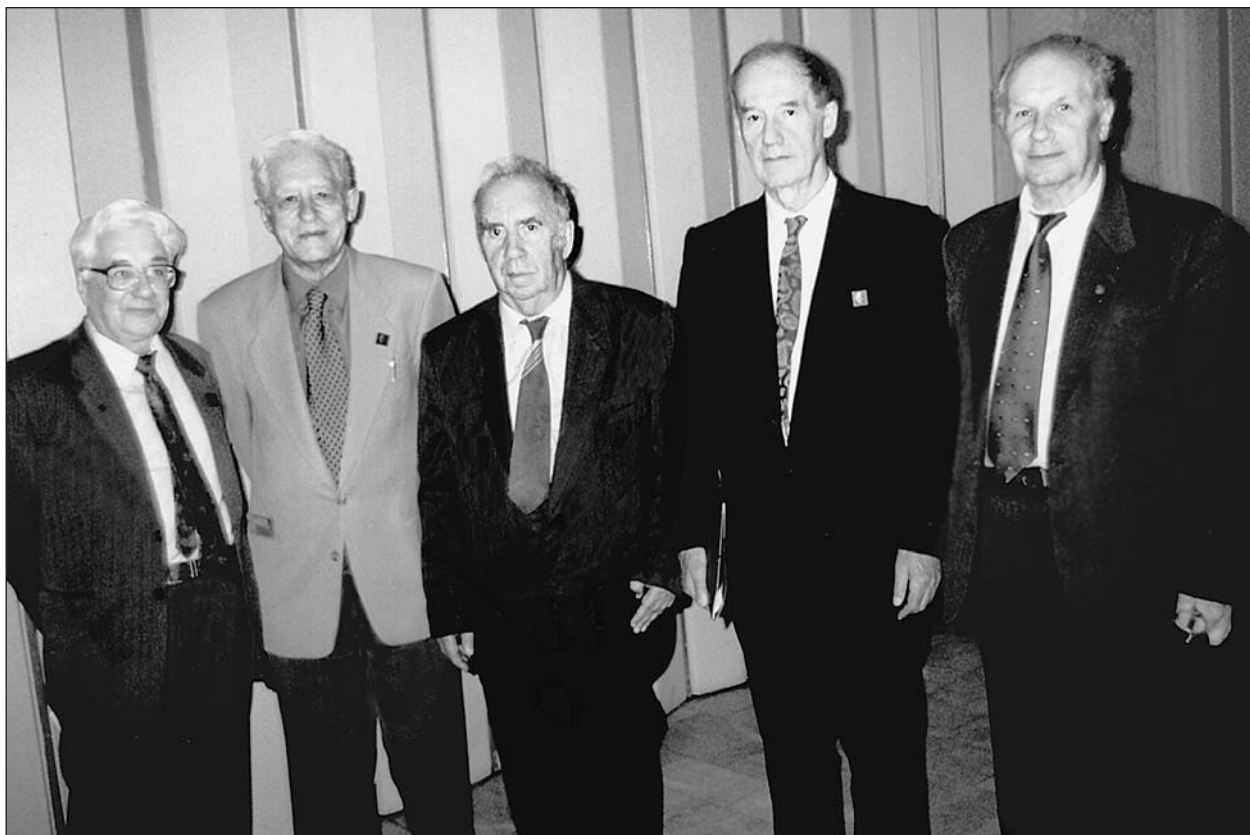
Прошло еще некоторое время, прежде чем я с большим интересом прочел книгу Горелика целиком. Она посвящена трудной и драматической истории становления ФИАНа и других институтов и школ и их роли в проведении физических исследований, связанных с Атомным проектом СССР. Безусловно, она заслуживает внимательного прочтения.

Но вот что написано автором на страницах 203—204 по поводу трагического события в Институте прикладной математики [2]:

«Задание на расчет «слойки», которое получили в группе Ландау, было написано рукой Сахарова.

*«Это был лист в клеточку, исписанный от руки, с двух сторон, зеленовато-синими чернилами, и этот лист содержал всю геометрию, все данные первой водородной бомбы»**.*

Возможно, это был самый секретный документ в Советском Проекте, его нельзя было доверить никакой машинистке. После того как в Институте физпроблем на основе этого документа подготовили математическое задание, его переправили в Институт прикладной математики, где работала группа Тихонова. И там лист исчез. Возможно, его приняли за черновик — ** Эта фраза сказана И.М.Халатниковым Г.Е.Горелику в интервью 17.03.1993.



А.М.Воинов, Л.П.Феоктистов, Ю.А.Романов, В.И.Ритус, В.М.Горбачев. Саров. 2001 г.

всего один лист, исписанный от руки, и уничтожили вместе с другими черновиками. Но при этом не зарегистрировали, что и привело к трагедии, о которой рассказал Сахаров:

“Для расследования ЧП («чрезвычайного происшествия») из министерства приехал начальник секретного отдела — человек, вызывавший у меня физический ужас уже своей внешностью, остановившимся взглядом из-под нависших век; в прошлом он был начальником Ленинградского управления ГБ в момент так называемого «Ленинградского дела», когда там было расстреляно около 700 высших руководителей. Он говорил почти час с начальником секретного отдела Института (содержание их разговора осталось неизвестным), дело было в субботу. Воскресенье институтский начальник провел со

своей семьей; с детьми, говорят, был весел и очень ласков. В понедельник он пришел на работу за 15 минут до начала работы и раньше, чем пришли его сотрудники, застрелился”.

Таким образом, Горелик цитирует второй абзац сахаровского текста, приведенного мною выше, исключая из него две первые и одну последнюю фразы, в которых говорится, что задание послано сотрудником Сахарова, что машинистка сожгла листок, не зарегистрировав его, и что она была арестована и находилась в заключении. Более того, Горелик противоречит Сахарову, утверждая, что задание написано рукою Сахарова и что его нельзя было доверить никакой машинистке.

Читая эти страницы книги Горелика спустя десять лет после чтения «Воспоминаний» Сахарова, я не сравнил тогда оба

текста, но понимал, что речь идет об одном и том же событии и по-прежнему считал его происшедшим после моего отъезда из Сарова. Тем не менее слова о задании на «листе в клеточку», направленном в группы Ландау и Тихонова, напомнили мне и о моем задании, посланном в эти группы.

И вот в прошлом 2002-м году совсем по другой причине я взглянул в свою старую записную книжку «объектовских» времен и обратил внимание на то, что почти все записи в ней сделаны авторучкой с «зеленовато-синими чернилами». Более того, в этой книжке рукою Сахарова, но моей ручкой с теми же чернилами, написан московский адрес Сахарова: «Сахаровы. Клавд.Алекс. Д-3-00-50доб306

Октябрьское поле (авт №60 до конца) дом 55 кв 6 Д-7-00-22 доб.506».

Причем первый телефон позднее вычеркнут, а второй написан уже моей рукой. Отправляя меня в командировку, Андрей Дмитриевич просил передать Клавдии Алексеевне его зарплату.

Хорошо, что авторучки и чернила, которыми мы писали в секретных тетрадях и документах, в секретный отдел не сдавались.

Тогда я попросил свою дочь, которая работает в Институте прикладной математики, узнать у В.Я.Гольдина, сотрудника группы Тихонова—Самарского тех времен, кем написано то самое задание. Его ответ был: «Вашим отцом». Вскоре я встретился с Владимиром Яковлевичем, и мы долго беседовали. Он помнит все, собирается написать статью о Тихонове, о работе группы Тихонова—Самарского над заданиями нашего объекта, о взаимоотношениях этой группы с группой Ландау.

Поэтому я скажу только, что исчезновение документа обнаружилось примерно через год после выполнения задания, когда Борису Рождественскому — другому сотруднику группы Тихонова—Самарского и моему однокурснику — зачем-то понадобился оригинал задания, который должен был храниться в секретном отделе Института. Его там не оказалось. О ЧП узнали Сахаров, Романов и Гаврилов, командированный специально для расследования с объекта от научных сотрудников. Никто из них на протяжении многих лет теснейшего знакомства со мной не рассказал мне о случившемся. Одна из причин этого — уважение к решению Тихонова и его группы не разглашать происшедшее и уважение к начальнику секретного отдела института. Конечно, можно догадываться и о других причинах.

Таким образом, все написанное Сахаровым правильно, только машинистка сидела не один и не два, а три года. Но Горелик прав в оценке важности этого математического задания. Впервые за пределы объекта вы-



Ю.А.Трутнев и В.И.Ритус. Саров. 2002.

шел документ, в котором в концентрированной форме излагались все сведения о нашей первой водородной бомбе, основанной на идеях, предварительных расчетах и экспериментальных результатах наших ученых. Проведенная группой Сахарова предварительная работа определила оптимальный вариант конструкции и состав термоядерного топлива. В задании были сформулированы уравнения в частных производных, которыми описывались основные процессы, происходящие во время взрыва, и именно возможно более точное решение этих уравнений было задачей групп Ландау и Тихонова.

Ниже я рассказываю о том, как было написано это задание.

В конце 1952 г. Андрей Дмитриевич в моей рабочей тетради написал план будущего задания, состоящий из нескольких пунктов и занявший почти страницу (формата близкого к современному А4). Он попросил меня подробно разработать каждый из пунктов, предусмотреть возможные варианты начальных данных, привести таблицу сече-

ния dt -реакции и других реакций. Я занимался этим делом в течение нескольких дней и в этой же тетради написал черновик будущего задания. Андрей Дмитриевич просмотрел его, сделал несколько замечаний, которые я, разумеется, учел. Когда казалось, что все уже кончено, он сказал:

— Знаете что, разделите-ка все длины на 60.

— Зачем? — спросил я.

— Для конспирации, — ответил он, улыбаясь.

Мне пришлось внести соответствующие изменения в начальные плотности веществ, коэффициент диффузии и другие размерные величины. Я думаю, что дело было не только в конспирации, математикам удобнее работать с безразмерными величинами, а 60 см — это характерные размеры нашего «изделия». Наконец, я переписал текст на выданный мне большой «лист в клеточку»; он занял обе стороны листа, что соответствовало четырем страницам моей тетради.

Месяца через полтора после отправления этого задания в

группы Ландау и Тихонова Андрей Дмитриевич послал меня к ним в командировку. В это время они еще не закончили своих расчетов, но ему не терпелось узнать, как в слоях выгорают Li^6 , дейтерий, накапливается и сгорает тритий. Свое посещение группы Ландау я уже описывал в журнале «Природа» [3], а также рассказывал на научно-техническом совете, посвященном 80-летию со дня рождения Сахарова. Сейчас дополню свои впечатления следующим.

Когда кто-то из моих собеседников принес рабочую тетрадь и развернул ее, то она заняла почти весь стол, настолько ее горизонтальные размеры были больше вертикальных. Меня поразило и даже несколько смутило то, что эта тетрадь была явно иностранного производства и, по-видимому, специально предназначена для записи промежуточных результатов сложных численных расчетов. Напомню, что в то время такие расчеты выполнялись вычислительными машинами типа «Мерседес» или «Рейнметалл», поставляемых из Германии. На типографски разноразмерных страницах этой тетради были аккуратно написаны столбцы чисел, представлявших значения разных физических величин в зависимости от времени.

Я выписал интересовавшие Сахарова и меня числа на специальном листке, который через секретный отдел был отправлен к нам на объект.

Другое мое впечатление связано с тем интересом к личности Сахарова, который проявили мои собеседники (это были Е.М.Лифшиц и И.М.Халатников; иногда в комнате появлялся и снова уходил Н.Н.Мейман; все эти имена я узнал позднее). Я понял, что они не только не были знакомы с Сахаровым, но и никогда не видели его. Поэтому я думаю, что это задание для группы Ландау было первым, исходившим из группы Сахарова. До этого группа Ландау работала над заданиями группы Зель-

довича, касавшимися атомной бомбы и «трубы»*.

Иное дело, группа Тихонова—Самарского, в которую я направился на следующий день. Она работала в здании, где до переезда ФИАНа с Миусской площади находилась лаборатория В.И.Векслера. В отличие от группы Ландау, почти всех членов группы Тихонова—Самарского я знал. Тихонов читал нам лекции по математической физике, Самарский вел практические занятия и даже принимал у меня экзамен. Я познакомился с ним еще на 1-м курсе, когда он был председателем Научного студенческого общества. Борис Рождественский был моим однокурсником. Поэтому в этой группе новыми людьми для меня были только В.Я.Гольдин и Н.Н.Яненко. Но В.Я. встретил меня такой улыбкой, будто я был его хорошим знакомым. При этом он сказал: «Владимир Иванович, вы так понятно написали задание, пишите нам всегда». По-видимому, предыдущие задания писались Сахаровым и были рассчитаны на «суперменов».

Знакомясь с поведением интересовавших меня физических величин, я обратил внимание на некоторое различие в методах проведения численных расчетов в группах Ландау и Тихонова.

Например, важнейшей величиной в расчетах была скорость термоядерной реакции, в частности, dt -реакции. Она определяется произведением эффективного сечения реакции и относительной скорости v сталкивающихся частиц $\sigma_{dt}(v)v$, усредненным по максвелловскому распределению скорости:

$$\langle \sigma_{dt}(v)v \rangle = \int d^3v \left(\frac{\mu}{2\pi T} \right)^{3/2} e^{-\frac{\mu v^2}{2T}} \sigma_{dt}(v)v.$$

Здесь μ — приведенная масса сталкивающихся частиц, а T — температура среды. Тогда число реакций в 1 см^3 в 1 с равно величине $\langle \sigma(v)v \rangle$, умноженной на произведение концентраций

* Проект водородной бомбы, над которым работала группа Я.Б.Зельдовича в 1950—1953 гг.

сталкивающихся частиц. Каждая из групп по-своему находила написанный интеграл как функцию температуры.

Так как сечение содержит хорошо определенную Гамовым экспоненциальную зависимость $\exp(-2\pi e^2/\hbar v)$ от скорости и плохо определенный предэкспоненциальный множитель, то в группе Ландау интеграл представили в виде экспоненциальной функции с показателем

$$-\frac{3}{2} \left(\frac{4\pi^2 e^4 \mu}{\hbar^2 T} \right)^{1/3},$$

найденным методом перевала, и предэкспоненциальным множителем-полиномом 1-й или 2-й степени от температуры, найденным интерполяцией численных значений для интеграла. В группе Тихонова интеграл представили полиномом высокой степени (7-й или 8-й, не помню), коэффициенты которого были найдены интерполяцией численных значений интеграла.

Обе группы использовали таблицы сечений dd - и dt -реакций, составленные из экспериментальных данных, опубликованных учеными из Лос-Аламоса Э.Бретчером (E. Bretscher) и А.П.Френчем (A.P. French) в *Physical Review* (1949. V.75. P.1154) и найденных нашими группами Ю.А.Зысина (Саров), И.Я.Барита (ФИАН), И.С.Погребова (Дубна). Данные наших групп были, разумеется, совсекретными.

Можно удивляться, почему американцы опубликовали сечение dt -реакции в апреле 1949 г. (а сечение dd -реакции годом раньше). По-видимому, они не представляли себе состояния наших работ по атомной бомбе, до испытания которой 29 августа 1949 г. оставалось несколько месяцев. Тем более они не представляли тогда и состояния наших работ над водородной бомбой.

Когда же американцы узнали о передаче К.Фуксом секретов устройства водородной бомбы, то они стали торопиться, но вскоре обнаружили, что его информация ошибочна и вводит в

заблуждение. Тем ценнее было появление у нас совершенно других, отличных от использованных в «трубе», принципов создания водородной бомбы, предложенных Сахаровым и Гинзбургом. Ионизационное обжатие ядерного топлива Li^6D и наработка трития приводили к резкому возрастанию скорости термоядерной реакции. И задание, о котором я здесь вспоминаю, фиксировало существен-

ный прорыв, сделанный нашими специалистами в разработке термоядерного оружия. А успешное испытание 12 августа 1953 г. подтвердило правильность идей и расчетов по его созданию. На этом можно было бы поставить точку.

Но ценнейший опыт и уверенность в понимании сложнейших процессов, протекающих при термоядерном взрыве, дали возможность нашим специали-

там реализовать «витающую в воздухе» и казавшуюся неосуществимой идею радиационного обжатия. Переход от ионизационного обжатия к радиационному был бы аналогичен американскому, если бы они реализовали свою схему «будильник».

Как жаль, что то математическое задание для групп Ландау и Тихонова не сохранилось. Такой документ должен был бы иметь гриф «Хранить вечно». ■

Литература

1. Сахаров А.Д. Воспоминания. Т.1. М., 1996.
2. Горелик Г. Андрей Сахаров: Наука и Свобода. Ижевск, 2000.
3. Ритус В.И. // Природа. 1990. №8. С.10.

Построенная Д.У.Томпсоном (D.W.Thompson; Университет штата Колорадо в Форт-Коллинсе, США) и Н.П.Джиллеттом (N.P.Gillett; Университет провинции Британская Колумбия в Виктории, Канада) математическая модель подтвердила предположения, что изменения климата, которые происходят в Южном полушарии в последние 40 лет, нельзя объяснить лишь взаимодействием атмосферы с океаном и его ледовым покровом. В частности, тот факт, что наибольшие амплитуды климатических вариаций характерны для периода, приходящегося на конец весны — лето, обусловлен весенним дефицитом озона в стратосфере над Антарктикой.

Journal of Climatology. 2003. V.16. P.2802; Science. 2003. V.302. №5643. P.236, 273 (США).

Американский ученый Ф.Киприано (F.Cipriano; Университет Сан-Франциско) исследовал для Агентства по изучению окружающей среды собачьи и кошачьи корма, куп-

ленные в токийских магазинах. Оказалось, что в этих продуктах содержится мясо дельфина и обитающего в антарктических водах малого полосатика. Япония, якобы с научной целью, ежегодно вылавливает 440 китов этого вида (несмотря на неуклонное сокращение популяции), а также несколько сотен китов других видов, распространенных в северной части Тихого океана. На заседании Международной китобойной комиссии Япония претендовала на увеличение своих квот, однако результаты проведенного анализа полностью дискредитируют эти попытки. Terre Sauvage. 2003. №187. P.16 (Франция).

Испанские и итальянские ученые решили установить, где на самом деле похоронен Христофор Колумб (на эту честь претендуют Испания, Италия и Доминиканская Республика). Испанцы сопоставляют по ДНК останки одного из сыновей великого мореплавателя и кости скелета, возможно принадлежа-

щие Колумбу (они хранятся в кафедральном соборе Севильи). Итальянцы изучают останки, переданные епископом Санто-Доминго в Падую в 1880 г. Исследования могут помочь и в ответе на вопрос, кто в действительности был отцом Колумба: генуэзский ремесленник Доменико Коломбо, испанский принц Карлос де Виана или папа Иннокентий VIII?

Sciences et Avenir. 2004. №685. P.16 (Франция).

Кроты, слепые от природы, имеют дополнительный источник информации об окружающей среде: они обладают сложной системой ориентации, действующей наподобие внутреннего компаса. Т.Кимчи (T.Kimchi; Тель-Авивский университет, Израиль) и его коллеги открыли, что эти животные используют магнитное поле Земли, чтобы находить путь в лабиринте своих длинных подземных ходов.

Sciences et Avenir. 2004. №685. P.22 (Франция).

Королевка

От рентгеновских лучей к элементарным частицам

К 100-летию Абрама Исааковича Алиханова

Ю.Г.Абов,

доктор физико-математических наук

*Институт экспериментальной и теоретической физики
Москва*

Абрам Исаакович Алиханов родился 4 марта 1904 г. (по новому стилю) в г.Елизаветполе (тогда, по-видимому, — в Армении, затем город стал называться Кировабадом и оказался в Азербайджане). Отец, Исаак Абрамович, работал машинистом на Закавказской железной дороге, мать была домашней хозяйкой. В семье было четверо детей: два сына, Абрам и Артем, и две дочери. Оба сына, как известно, стали крупными физиками-экспериментаторами. Семья не раз меняла место жительства: Елизаветполь, Александрополь, затем Тифлис. Работал только отец, и, тем не менее, старшему сыну Абраму наняли учителя для подготовки к поступлению в реальное училище. Абрам начал в нем учиться, но затем весь класс перевели в коммерческое училище. Тем временем семья вновь оказалась в Армении, но Абрам остался в Тифлисе, окончил училище и поступил на химический факультет Тифлисского политехнического института (1921). В 1920 г. семья Алихановых была вынуждена бежать из Армении, чуть не попав в плен к туркам. Ехали на крышах вагонов, но поезд не пропустили в Грузию. Меншевистское правительство Грузии не хотело въезда беженцев. Лишь благодаря содействию друзей семья вновь объединилась в Тифлисе.

В 1921 г. отец тяжело заболел. Абраму пришлось помогать семье, работая в разных местах. Тем не менее в 1923 г. ему удалось поступить, вновь на первый курс, на физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. Но и здесь, в Ленинграде, на жизнь он зарабатывал сам.

В 1927 г., еще будучи студентом, Абрам Исаакович был принят на работу в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ). Его первые опыты касались изучения рассеяния рентгеновских лучей кристаллами в связи с проблемой старения металлов. В ходе этих исследований молодого экспериментатора в большей степени заинтересовали физические свойства самих рентгеновских лучей.



А.И.Алиханов. Портрет работы М.И.Сарьяна (масло).

Начало пути: рентгеновская оптика

Сразу после обнаружения дифракции рентгеновских лучей возник вопрос, можно ли использовать законы классической световой оптики для описания их оптических свойств. Запишем соотношение Брэгга—Вульфа, которое задает условие формирования интерференционного максимума порядка $m = 1, 2, \dots$ при падении излучения с длиной волны λ под углом скольжения θ на систему атомных плоскостей с межплоскостным расстоянием d , в виде

$$\frac{\lambda}{2d} = \frac{\sin\theta}{m}. \quad (1)$$

Казалось бы, величина $\lambda/2d$ не должна зависеть от порядка отражения m , но опыт показал, что это не так, т.е. $\lambda/2d \neq \text{const}$. Объяснить этот экспериментальный факт можно, если рентгеновские лучи, подобно световым, испытывают преломление на границе двух сред. Определив, как обычно, показатель преломления

$$n = \frac{\cos\theta}{\cos\theta'} = 1 - \delta, \quad (2)$$

где $\delta \ll 1$, получим:

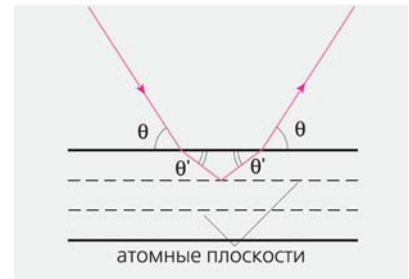
$$m\lambda = 2d\sin\theta\left(1 - \frac{4d^2\delta}{m^2\lambda^2}\right), \quad (3)$$

т.е. отношение $\lambda/2d$ действительно зависит от m . Более того, используя выражение (3) для разных значений $m_1 \neq m_2$, можно получить значение δ , т.е. определить показатель преломления n . Дифракционные опыты показали, что для рентгеновских лучей, в отличие от обычной оптики, n не больше единицы, а меньше. Величина $\delta \approx 10^{-6}$, т.е. показатель преломления очень близок к единице, но, тем не менее, меньше ее. Значит, вакуум (воздух) является для них оптически более плотной средой, чем вещество.

Однако дифракционный метод неудобен для измерений показателей преломления. В подавляющем большинстве случаев был использован метод, основанный на явлении полного отражения. В световой оптике его называют полным внутренним отражением, так как, в соответствии со значением n , оно имеет место при падении луча на границу раздела вакуум—среда из глубины вещества. В рентгеновской оптике его следует называть полным внешним отражением, но такой термин не «прижился», поэтому будем говорить просто о полном отражении. Если $\theta = \theta_{\text{кр}}$, то, согласно (2),

$$n = \cos\theta_{\text{кр}} = 1 - \delta;$$

значит, $\theta_{\text{кр}} \approx \sqrt{2\delta}$. Порядок величины $\theta_{\text{кр}}$ составляет несколько минут. Казалось бы, измерения критического угла не представляют больших проблем. При $\theta < \theta_{\text{кр}}$ коэффициент отражения — отношение интенсивностей отраженного и падающего лучей — должен равняться единице, а при $\theta \geq \theta_{\text{кр}}$ — быстро падать до нуля. Однако на самом деле не все так просто. В процессе полного отражения падающий луч проникает внутрь вещества, но его интенсивность при этом быстро (экспоненциально) затухает, и энергия «перекачивается» в интенсивность отраженного. При наличии поглощения излучения в веществе исчезает резкая граница при $\theta = \theta_{\text{кр}}$, интенсивность отраженного пучка вблизи критического угла изменяется тем более плавно, чем больше поглощение, и определение $\theta_{\text{кр}}$ по зависимости интенсивности от угла θ становится невозможным. Как в этом случае найти показатель преломления среды? Если есть теория явления, то показатель преломления можно определить, сравнивая экспериментальную кривую с расчетными. В оптике в таких случаях используют формулы Френеля, полученные на основе уравнений Максвелла и принципа Гюйгенса. Спрашивается, можно ли их



Дифракционное отражение рентгеновских лучей от кристалла с учетом преломления на границе вакуум—среда. θ — угол скольжения, θ' — соответствующий ему угол в среде. Атомные плоскости параллельны поверхности кристалла.

использовать в оптике рентгеновских лучей? Определенного ответа на этот вопрос не могли получить в течение ряда лет. Возникла необходимость детально исследовать весь механизм полного отражения и, в частности, измерить глубину проникновения рентгеновских лучей в вещество. Окончательно проблему решили А.И.Алиханов и Л.А.Арцимович в течение 1930—1933 гг. [1]. В качестве источника рентгеновских лучей они использовали трубку с молибденовым антикатодом. Характеристическую линию $\text{MoK}_{\alpha 1}$ — одну из моноэнергетических линий атома молибдена — выделяли с помощью кристалла-монокроматора. Для этой цели за трубкой располагалась камера, внутри которой был помещен монокристалл кальцита. Кристалл можно было поворачивать так, чтобы угол скольжения пучка с поверхностью кристалла соответствовал условию Брэгга—Вульфа (1) для указанной линии.

В этом устройстве заключалось одно из преимуществ и отличий установки Алиханова и Арцимовича от установок их предшественников, которые, как правило, использовали немонохроматическое излучение, что затрудняло определение критического угла. На выходе камеры

монохроматора была укреплена щель, положение и ширина которой регулировались. Далее на пути пучка размещалась разборная вакуумная камера, где помещалась оптически полированная стеклянная пластина («зеркало»), на которую методом испарения наносили тонкие слои исследуемых веществ. Зеркало можно было сдвигать и поворачивать при помощи специального устройства. Цена деления шкалы микрометрического винта соответствовала повороту зеркала на угол $0.08'$. Оригинальная испаряющая система позволяла наносить на подложку-зеркало самые тонкие — монокристаллы — слои как прозрачных, так и сильно поглощающих материалов. Щель, установленная за вакуумной камерой, отсекала часть пучка, проходившую мимо зеркала. Регистрировали отраженный пучок с помощью ионизационной камеры (до Алиханова пользовались фотографическим методом регистрации, часто даже без фотометрии, что исключало возможность точного измерения интенсивности). Вначале исследовали полное отражение от под-

ложки-зеркала. Затем постепенно наращивали толщину слоя исследуемого материала до исчезновения влияния самой подложки на процесс полного отражения. Так измеряли глубину слоя, на которую проникает излучение в этом процессе. Авторы разработали теорию явления полного отражения рентгеновских лучей, основанную на представлениях классической оптики. Все полученные экспериментальные данные были сопоставлены с расчетными, и согласие оказалось полным. Тем самым была убедительно продемонстрирована справедливость классических представлений в оптике жестких рентгеновских лучей (подробнее об этом см. в [2]).

В глубь материи

В 1932 г. были сделаны два крупных открытия в физике: обнаружены нейтроны и положительно заряженные электроны — позитроны. Директор и основатель ЛФТИ академик А.Ф.Иоффе решил, что необходимо срочно начинать ядерно-

физические исследования. Он создал в ЛФТИ отдел ядерной физики, который вскоре возглавил И.В.Курчатов, а в своем отделе — отделе физики твердого тела — лабораторию позитронов, руководить которой поручил Алиханову. Позитроны были открыты К.Андерсоном в космических лучах. В своей работе он использовал камеру Вильсона, помещенную в магнитное поле. Напомним, что в камере Вильсона, в рабочем объеме которой при резком движении поршня на короткое время возникает состояние пересыщенного пара, заряженная частица, способная ионизировать атомы газа, оставляет за собой след в виде капелек жидкости. Капельки конденсируются на ионах вдоль пути частицы, трек частицы становится видимым, и его можно сфотографировать. В однородном магнитном поле трек принимает форму винтовой линии. Сечение этой линии плоскостью, нормальной к оси (направлению поля), есть окружность, радиус которой определяется кинетической энергией частицы. Очевидно, что если радиус очень мал или, наоборот, велик (малая кривизна), измерения его затруднены. Кроме того, необходимо вносить поправки на многократное рассеяние частиц в газе. Электроны и позитроны, двигаясь в противоположных направлениях, создают одинаковые треки — треки с одинаковой кривизной. Первым догадался поместить камеру в магнитное поле Д.В.Скобельцын — в 1926 г.; в 1931 г., до Андерсона, он обнаружил электронные треки с «неправильной» кривизной, но по указанной выше причине не решился объявить о наблюдении новых, ранее неизвестных, частиц — позитронов. После сообщения Андерсона были поставлены опыты другими экспериментаторами и сомнений в существовании позитронов не осталось. Сразу после обнаружения позитронов в космических лучах был начат поиск «земных»

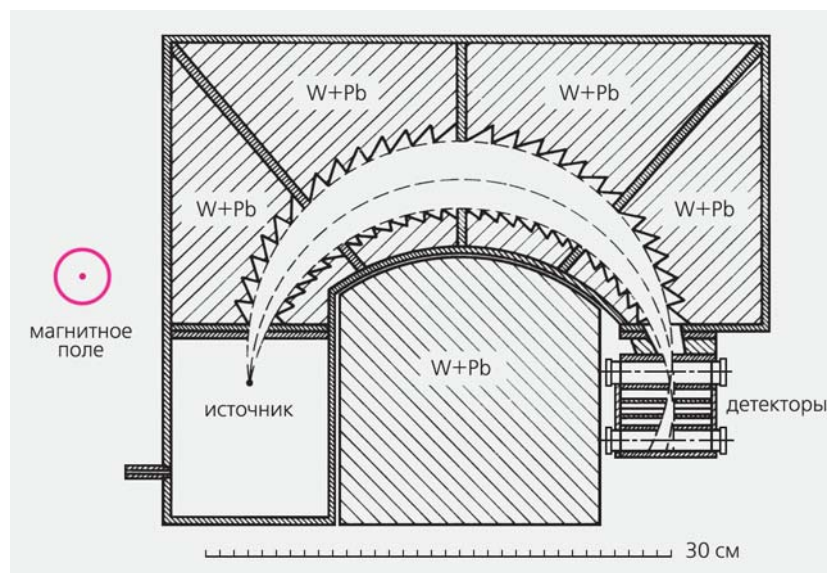


А.Ф.Иоффе, А.И.Алиханов, И.В.Курчатов (слева направо). Начало 30-х годов.

источников этих частиц. Вновь все экспериментаторы использовали для этой цели камеры Вильсона. Абрам Исаакович Алиханов отказался от этой методики. Он построил магнитный спектрометр типа Даниша, устройство которого изображено на рисунке. Однородное магнитное поле направлено перпендикулярно к плоскости рисунка. Заряженные частицы (электроны, позитроны), вылетающие из источника (показан слева), фокусируются на детекторе, который расположен справа. Детектор состоит из двух счетчиков Гейгера—Мюллера, включенных в схему совпадений. Счетчик Гейгера—Мюллера устроен так, что при прохождении через него заряженной частицы в нем возникает импульс электрического тока — короткий электрический сигнал. Регистрировали только такие частицы, которые давали одновременно сигналы в обоих счетчиках. Схема отбора совпадений была впервые собрана на электронных лампах с большим усилением. Работы группы Алиханова положили начало развитию ядерной электроники в СССР.

При заданном направлении и величине магнитного поля в детектор попадают либо электроны, либо позитроны, причем с определенной энергией. Перепутать электроны и позитроны невозможно. Изменяя величину поля, можно исследовать спектр частиц. Использование схемы совпадений резко снизило фон от случайно рассеянных в спектрометре частиц — электронов, гамма-квантов. Это позволило использовать сильные радиоактивные источники.

В поисках источников позитронов супруги Кюри обнаружили, что при облучении некоторых атомных ядер α -частицами возникают радиоактивные продукты ядерных реакций. Некоторые из них обладают позитронной активностью. Так была обнаружена искусственная радиоактивность. К аналогичному



Магнитный бета-спектрометр А.И.Алиханова. Зубцы в свинце служат ловушками рассеянного излучения.

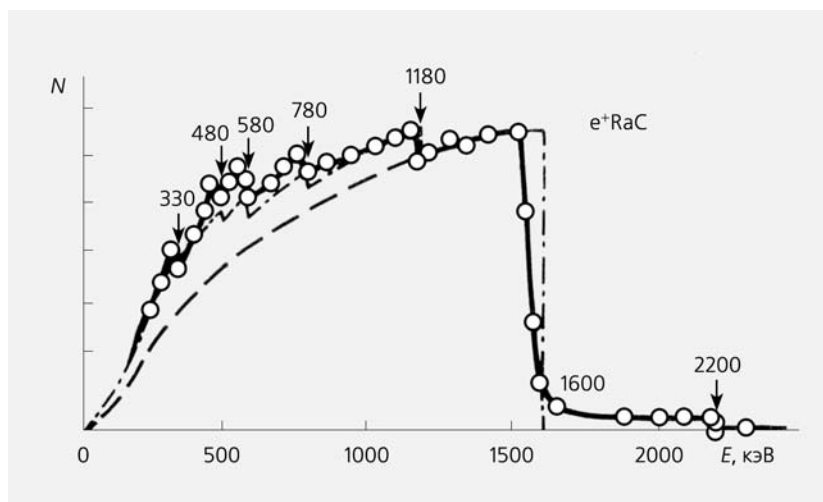
выводу независимо от них пришли А.И.Алиханов, его брат А.И.Алиханьян и Б.С.Джелепов, но опубликовали свое сообщение о «новом типе радиоактивности» на несколько месяцев позже [3].

Свои исследования на магнитном спектрометре Алиханов начал с изучения внешней парной конверсии гамма-квантов. Существование этого явления непосредственно следовало из теории Дирака, и оно уже было обнаружено. Состоит оно в том, что в кулоновском поле ядра гамма-квант может превратиться в пару e^+e^- — позитрон и электрон. В вакууме этот процесс запрещен законом сохранения импульса — нужен третий партнер, которым в данном случае служит атомное ядро. Сечение (вероятность) процесса пропорционально квадрату электрического заряда ядра, поэтому в качестве «конверторов» используют фольгу из тяжелых элементов, обычно из свинца. На нее падают гамма-лучи внешнего радиоактивного источника (энергия кванта должна превосходить энергию покоя двух электронов), и в направлении падающего излучения выходят e^+e^- -

пары. По причинам, которые отмечены выше, с помощью камеры Вильсона трудно детально исследовать спектр позитронов во всем энергетическом диапазоне. Это было сделано с помощью магнитного спектрометра Алихановым, и было показано, что в соответствии с теорией максимум спектра приходится на энергию позитронов, равную половине максимальной. В ходе исследований Алиханов обнаружил, что позитроны оказываются в спектрометре и при отсутствии конвертора, но значительно реже.

Так Алихановым было сделано крупное открытие: обнаружено явление внутренней парной конверсии. О возможности подобного процесса уже говорили, но теория еще не была разработана. Более того, супруги Кюри уже сообщили о том, что они это явление наблюдали, однако доказательств представлено не было. Итак, что это такое — «внутренняя парная конверсия»?

В некоторых случаях возбужденное атомное ядро источника при условии, что энергия возбуждения превосходит энергию покоя двух электронов, вместо



Энергетический спектр позитронов RaC (^{214}Bi). Цифрами обозначены энергии гамма-линий (обрывы на кривой).

реального гамма-кванта испускает виртуальный квант. Виртуальный гамма-квант тут же превращается в e^+e^- -пару, исходящую, можно сказать, из атомного ядра. Реальные гамма-кванты можно регистрировать детекторами, т.е. наблюдать непосредственно; к ним строго применимы законы сохранения. Виртуальные частицы принципиально ненаблюдаемы. Любой процесс регистрации требует времени, а виртуальные частицы «живут» столь короткое время, что их увидеть нельзя. Но реальную e^+e^- -пару, в которую превращается виртуальный гамма-квант, зарегистрировать можно. Увидев появление позитронов в спектрометре при отсутствии конвертора (который могли снять случайно), Алиханов понял, что наблюдает новое явление — процесс внутренней парной конверсии. Но тогда энергетический спектр частиц e^+ должен сильно отличаться от спектра позитронов внешней парной конверсии. Пусть энергия гамма-кванта равна E_γ (на самом деле мы здесь пренебрегли энергией отдачи ядра — она весьма мала). На образование e^+e^- -пары надо затратить энергию $2m_e c^2 \approx 1.02$ МэВ (m_e — масса электрона, c — скорость света).

Значит, максимальная энергия позитрона (в этом случае электрону ничего «не достается») равна $E_{\max} = E_\gamma - 1.02$ МэВ. За этой энергией в спектре следует резкий обрыв, как это показано на рисунке. В качестве радиоактивного источника в данном случае был использован препарат RaC (^{214}Bi). У этого ядра был известен гамма-переход с энергией около 1.6 МэВ.

Обрыв спектра при этой энергии хорошо виден на рисунке. Но ясно видны и другие «обрывы», демонстрирующие присутствие других гамма-линий, т.е. гамма-переходов, которые сопровождаются процессом внутренней парной конверсии. Наблюдение таких спектров и есть прямое доказательство существования процесса внутренней парной конверсии. Регистрация единичного позитрона в камере Вильсона при отсутствии конвертора за источником излучения не может быть доказательством обнаружения нового физического явления. Работы Алиханова и его учеников положили начало современной ядерной спектроскопии. Один из них — член-корреспондент АН СССР Джелепов — занимался этой наукой до конца своих дней и был признанным ми-

ровым лидером в данной области. Алиханов детально исследовал форму бета-спектров как при электронном, так и позитронном распадах и впервые обнаружил влияние кулоновского поля бета-активного ядра на форму спектра обеих частиц. Более того, он пытался исследовать форму бета-спектра вблизи максимальной энергии электронов, где интенсивность близка к нулю. Целью этого эксперимента было измерить массу нейтрино, которое испускается при бета-распаде вместе с электроном. Гипотеза о существовании нейтрино, выдвинутая В.Паули, должна была «спасти» законы сохранения в бета-распаде, так как позволяла объяснить непрерывную форму бета-спектров. Н.Бор еще в 20-х годах прошлого века инициировал дискуссию на тему, могут ли законы сохранения нарушаться в микромире. Существование нейтрино было доказано значительно позже. Но тогда, в 30-е годы, Абрам Исаакович в изящном эксперименте показал, что законы сохранения в микромире справедливы, т.е. строго выполняются. При столкновении друг с другом электрон и позитрон аннигилируют, превращаясь в два гамма-кванта. В случае малых энергий, когда суммарный импульс исходных частиц близок к нулю, кванты, энергия каждого из которых равна 0.5 МэВ, должны разлетаться в противоположные стороны. Алиханов со своими коллегами именно это и продемонстрировал [3].

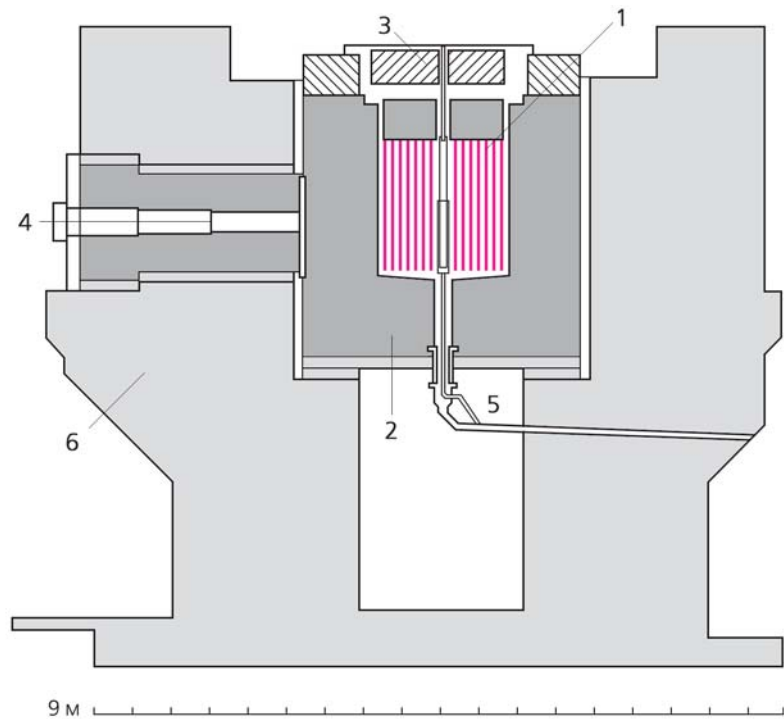
Группа Алиханова в течение 1933—1940 гг. выполнила очень много значительных, актуальных тогда исследований. Например, было показано, что процессы рассеяния и поглощения быстрых электронов адекватно описываются релятивистской квантовой механикой (подробно об этом периоде деятельности ученого см. в [4]). В 1935 г. Алиханову была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук, а в 1939 г. он был избран в чле-

ны-корреспонденты Академии наук СССР, в 1943 г. стал ее действительным членом.

От бомбы к реактору

Когда в военные годы в СССР было принято решение о начале работ по разработке и созданию атомного оружия под руководством Курчатова, Алиханов был привлечен к этому проекту с самого начала. Для создания атомного оружия используют два нуклида: уран-235 и плутоний-239. Первый изотоп (^{235}U) в небольшом количестве содержится в природном уране, который в основном состоит из изотопа ^{238}U . Выделение ^{235}U осуществляется на специальных установках — сепараторах. Плутоний нужно создавать в атомных реакторах путем захвата нейтронов ядрами ^{238}U (затем вследствие бета-распада ^{238}U превращается в ^{239}Pu). В цепной реакции деления ядер после захвата одного нейтрона в результате развала ядра на более легкие ядра освобождается более двух нейтронов и выделяется энергия, нейтроны вызывают деление и т.д. Цепной процесс развивается по экспоненциальному закону, это и есть взрыв. Для его осуществления масса делящегося вещества должна быть не менее определенного критического значения.

В отличие от атомной бомбы, где реакция деления идет на быстрых нейтронах, тех, которые возникают при делении ядер, в большинстве ныне действующих реакторов реакция деления ядер идет на медленных нейтронах, так как эффективное сечение (вероятность) захвата ядрами ^{235}U медленных нейтронов значительно выше и, значит, можно использовать меньше «горючего материала». Поэтому нейтроны деления нужно замедлить. В качестве замедлителя используют слабо поглощающие нейтроны легкие материалы: воду (обычную или тяжелую), графит, бериллий.



Упрощенная схема реактора ИТЭФ.

- (1) Активная зона реактора. Она заполнена тяжелой водой; в ней расположены урановые стержни (показаны на рисунке цветом), а также стержни системы управления.
- (2) Графитовый отражатель, окружающий всю активную зону. Толщина графита всюду не менее 1 м. Нейтроны, выходящие из активной зоны, рассеиваются в графите и частично возвращаются обратно.
- (3) Свинцовая защита, расположенная под крышкой реактора (не показана на рисунке).
- (4) Канал для вывода пучка нейтронов из активной зоны в рабочий зал реактора.
- (5) Трубопроводы, предназначенные для наполнения активной зоны тяжелой водой, аварийного сброса воды в полость под реактором, а также трубопровод, ведущий к циркулярным насосам и теплообменникам (не показаны).
- (6) Защита из тяжелого бетона.

В 1943 г. Курчатов создал научный центр, сейчас носящий его имя, а тогда лабораторию №2 Академии наук СССР, где разрабатывали атомные реакторы с графитовым замедлителем — графитовые реакторы. В декабре 1945 г. Алиханов организовал лабораторию №3 АН СССР, которая впоследствии выросла в Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ). Лаборатория должна была заниматься разработкой реакторов на тяжелой воде

и развитием исследований в области ядерной физики, и уже в 1947 г. был готов проект первого в стране подобного реактора. В 1948 г. реактор был построен, а в апреле 1949 г. — сдан в эксплуатацию. В центре рисунка, изображающего его упрощенную схему, показана активная зона реактора, в которой находятся урановые стержни. Там же расположены и стержни системы управления — они содержат сильно поглощающий нейтроны материал. Верхняя

часть аппарата — крышка — сделана вращающейся. Крышка имеет ряд отверстий, благодаря которым легко изменять конфигурацию (решетку) расположения урановых стержней. Были испытаны различные решетки и выбран оптимальный вариант для промышленного реактора, предназначенного для наработки плутония. Промышленные реакторы вскоре вошли в строй. Задание Правительства было выполнено. В 1954 г. Алиханову было присвоено звание Героя Социалистического Труда, а до того он трижды становился лауреатом Государственной премии СССР (1941, 1948, 1953). Абрам Исаакович до конца своих дней оставался горячим энтузиастом и признанным лидером тяжеловодного направления в реакторостроении в СССР, но предпочтение было отдано более дешевым графитовым аппаратам. В скобках отметим, что графитовые реакторы получили широкое распространение только в нашей стране. У тяжеловодных реакторов есть много достоинств, но мы остановимся только на одном из них. Такие установки оказались очень устойчивыми в работе за счет большого отрицательного температурного коэффициента.

В них возникает сильная обратная связь температура — реактивность. С ростом температуры уменьшается коэффициент размножения нейтронов в активной зоне, и мощность снижается. На реакторе ИТЭФ было показано, что после достижения стационарного режима можно выключить регуляторы, и реактор будет сам себя регулировать за счет отрицательного температурного коэффициента. Более того, можно вынуть из активной зоны все регуляторы — режим саморегулирования сохраняется. Значит, выход из строя системы автоматического регулирования мощности не может вызвать аварию.

На вопрос о том, можно ли было избежать чернобыльской катастрофы, если бы был сделан выбор в пользу тяжеловодных реакторов, ответ прост: нарушая правила эксплуатации, можно вызвать аварию на любом реакторе. В ИТЭФ персонал реактора ежегодно сдавал руководству экзамен на право дальнейшей работы, и за почти 40 лет на реакторе института не возникло ни одной аварийной ситуации. Конечно, главная задача современной ядерной энергетики — создание реакторов с повышенной безопасностью. В ИТЭФ

продолжают работать над такими проектами, но в стране уже нет даже завода для производства тяжелой воды. Тяжеловодному направлению не суждено было стать магистральным у нас. Поэтому «центр тяжести» научных интересов в ИТЭФ был смещен в сторону ядерной физики и физики элементарных частиц.

К тайнам микромира

За период 1957—1960 гг. в институте был выполнен огромный комплекс исследований нарушения пространственной четности в бета-распаде. Четность — понятие квантовомеханическое: если волновая функция $\Psi(x,y,z,t)$, описывающая состояние физической системы, не изменяется при инверсии координат, т.е. замене $x \rightarrow -x, y \rightarrow -y, z \rightarrow -z$, функция Ψ называется четной, а если изменяет знак, — нечетной.

До 1956 г. считали, что четная функция всегда остается четной, а нечетная — нечетной. В закон сохранения четности верили, как в закон сохранения энергии. В 1956 г. Т.Ли и Ч.Янг высказали предположение о том, что слабое взаимодействие (оно ответственно за бета-распад) нарушает закон сохранения четности. Профессор Ц.Ву и ее коллеги подтвердили эту догадку экспериментально. В скобках отметим, что у Ву сложились очень хорошие, теплые отношения с Алихановым.

Чтобы коротко пояснить смысл опыта Ву, напомним, что при инверсии координат (ее проще представить как последовательное отражение в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях) различные величины ведут себя по-разному. Скалярная величина не изменяется, как не меняется и направление аксиального вектора, а полярный вектор меняет направление на обратное. Последний вариант реализуется для простого перемещения (достаточно приблизиться к зеркалу — изображение движется навстречу); вращение,



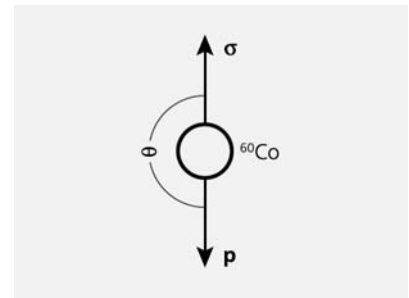
На даче у Алиханова. С.Я.Никитин, А.И.Алиханьян, А.И.Алиханов, Л.Д.Ландау (слева направо). 1959 г.

наоборот, после трех отражений продолжается в ту же сторону. Иначе говоря, импульс \mathbf{p} — полярный вектор, а момент количества движения $\mathbf{\sigma}$ — аксиальный. Заметим, что произведение $\mathbf{\sigma}\mathbf{p}$ изменяет знак при инверсии координат — это так называемый псевдоскаляр.

Закон сохранения четности требует, чтобы четность состояния не изменялась, т.е. при переходе системы из одного состояния в другое четности исходного и конечного состояний совпали. Поэтому вероятность перехода должна быть скалярной величиной — она не изменяется при инверсии координат. Обратимся к бета-распаду ядер. Ядра обладают собственными моментами количества движения — спинами $\mathbf{\sigma}$; если они бета-активны, то испускают электроны с импульсами \mathbf{p} . Если четность сохраняется, согласно сказанному, вероятность распада не должна содержать члена вида $\mathbf{\sigma}\mathbf{p}$. Тогда нужно разрешить электрону с равной вероятностью вылетать из ядра в любую сторону. Поскольку спин — аксиальный вектор, инверсия координат не изменяет его ориентации. Вылет электрона с равной вероятностью происходит в любом направлении. Следовательно, бета-распад происходит совершенно одинаково как в нашем мире, так и в том, который является его зеркальным отображением (получается путем инверсии координат). При сохранении четности не существует способа отличить друг от друга два таких мира. Опыт Ву показал, что это не так, два мира физически отличаются друг от друга.

Ву исследовала бета-распад ядер кобальта — ^{60}Co , которые были поляризованы, т.е. спины ядер были параллельны друг другу. Техника поляризации ядер хорошо освоена. В данном случае образец кобальта находился в магнитном поле при сверхнизкой температуре. Опыт показал, что электроны бета-распада вылетают преимущественно против направления спи-

на ядер, т.е. векторы спина ядер $\mathbf{\sigma}$ и импульса электрона \mathbf{p} направлены в противоположные стороны. Здесь важно, что есть корреляция этих направлений: $\mathbf{\sigma}\mathbf{p} \neq 0$. Произведя инверсию координат — перейдя в «зазеркалье», мы не изменим направления $\mathbf{\sigma}$, но вектор \mathbf{p} изменит направление и будет параллельным $\mathbf{\sigma}$. Теперь электроны будут вылетать вдоль направления поляризации ядер. Бета-распад отличает наш мир от его зеркального отображения. Слабое взаимодействие позволяет природе отличать «правое» от «левого». Другие взаимодействия — электромагнитное, сильное, гравитационное — таким свойством не обладают. Как будет проявляться нарушение закона сохранения четности в бета-распаде, если ядра не имеют определенной ориентации в пространстве — не поляризованы? В этом случае нет корреляции между $\mathbf{\sigma}$ и \mathbf{p} , так как $\mathbf{\sigma}$ — спины ядер имеют случайную ориентацию и $\mathbf{\sigma}\mathbf{p} = 0$. Две группы экспериментаторов в ИТЭФ — группа А.И.Алиханова и группа одного из его лучших учеников С.Я.Никитина — первыми получили ответ. Они обнаружили, что нарушение четности проявляется в наличии поляризации у самих электронов бета-распада. Алиханов исследовал большое количество разных бета-активных ядер и показал, что в соответствии с теорией спины электронов бета-распада строго ориентированы против направления движения, т.е. их импульса. Значит, и здесь имеется корреляция $\mathbf{\sigma}\mathbf{p}$, которая изменяет знак при инверсии координат. Наличие этой корреляции вновь свидетельствует о том, что в вероятности бета-распада есть псевдоскалярный член. В опытах, выполненных в ИТЭФ, была раскрыта физическая структура слабого взаимодействия [5], но об этом трудно (если вообще возможно) говорить без использования математического аппарата теории. Отметим, что в специальном эксперименте



Схематическое изображение асимметрии углового распределения электронов бета-распада. $\mathbf{\sigma}$ — единичный вектор спина ядра; \mathbf{p} — единичный вектор импульса электрона; θ — угол между этими векторами. Число вылетающих электронов, имеющих угол θ , пропорционально величине $(1 - \frac{v}{c} \cos \theta)$, где $\frac{v}{c} \approx 1$ (v — скорость электронов, c — скорость света).

Алиханов и его коллеги доказали: процесс бета-распада инвариантен относительно обращения направления времени.

Это исключительно важный результат. Точность, с которой данный вывод был сделан, оставалась непревзойденной много лет. Из него следует, что если произвести инверсию координат — перейти в зазеркалье и одновременно заменить частицы на античастицы, то получится мир, который невозможно отличить от исходного. Однако много лет спустя физики показали, что у природы есть механизм (инструмент), который отслеживает направление времени. Но это уже другая история, мы же вернемся к событиям в ИТЭФ.

В 50-х годах в ИТЭФ дирекция решила начать проектирование и строительство ускорителей протонов на высокие энергии с так называемой жесткой фокусировкой. В СССР еще не было таких ускорителей. Их преимущество заключалось в том, что диаметр пучка резко уменьшается, а следовательно, уменьшаются размеры вакуумной камеры и габариты магнитов. Предполагалось построить



А.И.Алиханов в своем рабочем кабинете. 1966 г.

два таких ускорителя: один на территории ИТЭФ — рассчитанный на энергию протонов 7 ГэВ — и второй — под Серпуховом (г.Протвино), самый крупный в мире в то время — на энергию 70 ГэВ. Ускоритель на территории ИТЭФ должен был сыграть роль модели большого ускорителя. Работы по расчету и проектированию ускорителей возглавил заместитель директора ИТЭФ В.В.Владимирский.

В 1961 г. «малый» ускоритель начал работать. Большой ускоритель продолжали строить. С этого момента физика элементарных частиц становится ведущей тематикой научных исследований в ИТЭФ. Программа работ была составлена под руководством директора. Абрам Исаакович сам участвовал в первых работах, поставленных на ускорителе в ИТЭФ. Однако в тот момент, когда все дальнейшее раз-

витие института было связано с использованием крупнейшего в мире ускорителя, этот ускоритель у ИТЭФ отобрали.

В жизни Алиханова было более чем достаточно тяжелых испытаний. Уже при строительстве промышленного реактора он испытал тяжелый сердечный приступ. В начале 50-х, в связи с «делом врачей», Абраму Исааковичу пришлось сражаться за сотрудников своего института. В 1956 г., после XX съезда партии, молодые коммунисты ИТЭФ на партийном собрании выступили с резкими заявлениями, и партийную организацию ИТЭФ распустили. Пошли слухи о возможных репрессиях. Состоялся разговор А.И.Алиханова с Н.С.Хрущевым. Директор спас свой институт, хотя 10 человек исключили из партии и четверых из них пришлось уволить. И это далеко не все, однако обо всем не расскажешь. Но даже когда самой жизни Абрама Исааковича угрожала опасность, он так не переживал, как на этот раз, и организм не выдержал. Произошел тяжелый инсульт. В 1968 г. Абрам Исаакович подал в отставку, а в 1970 г. его не стало.

Более 30 лет прошло с тех пор, как ушел из жизни крупный ученый, организатор науки, смелый, мужественный человек. Уже почти никого не осталось из учеников Абрама Исааковича, но осталась школа, остался институт — детище Алиханова. Недавно ИТЭФ было присвоено имя его основателя. ■

Литература

1. Алиханов А.И., Арцимович Л.А. // ЖЭТФ. 1933. Т.3. С.115.
2. Алиханов А.И. Оптика рентгеновских лучей. Л., 1933.
3. Алиханов А.И. Избранные труды. М., 1975.
4. Гаспарян Б.Г., Гринберг А.П., Френкель В.Я. Абрам Исаакович Алиханов. Воспоминания, письма, документы. Л., 1989.
5. Алиханов А.И. Слабые взаимодействия. Новейшие исследования β -распада. М., 1960.

Новости науки

Астрофизика

Солнце и гелиосфера в период максимума активности

Известно, что все пространство между Солнцем и ближайшими к нему звездами заполнено ионизованным и нейтральным газом, космической пылью, а также магнитным полем, управляющим заряженными частицами. Само Солнце не допускает это вещество в пределы гелиосферы, полностью охватывающей нашу планетную систему. Влияние Солнца простирается столь далеко благодаря тому, что порождаемый им ветер — поток заряженных частиц — заполняет гелиосферу и создает давление на межзвездную среду. Магнитное поле солнечного ветра удерживает межзвездную плазму от вторжения в гелиосферу.

Однако нейтральное вещество, пылевые частицы и космические лучи высоких энергий все же в состоянии проникать в гелиосферу, при этом их свойства меняются; происходит это не только на внешней границе, но и по всему пространству гелиосферы. Вблизи солнечного экватора уже был проведен ряд экспериментов, но лишь один из них, осуществившийся с аппаратом «Ulysses», который прошел от экватора до областей над полярными шапками Солнца, позволил получить трехмерную картину происходящих в гелиосфере процессов. Околосолнечная орбита аппарата «Ulysses» наклонена к солнечному экватору под углом около 80.2° ; перигелий (минимальное расстояние до светила) — 1.3 а.е., афелий (максимальная дистанция) — 5.3 а.е.; период обращения вокруг Солнца — 6.3 года. Результаты этих уникаль-

ных экспериментов были подробно изучены международной группой астрофизиков — Э.Дж.Смитом (E.J.Smith; Лаборатория реактивного движения в Пасадене), Р.Дж.Марсденом (R.G.Marsden; Европейский центр космической технологии, Нидерланды), А.Балогом (A.Balogh; Имперский колледж в Лондоне) и др.

Начальные исследования гелиосферы с помощью «Ulysses» проводились во время минимума солнечной активности, пришедшего на период между 1992 и 1998 г., когда аппарат совершал первый облет Солнца и на нем наблюдался минимум пятнообразующей деятельности. Теперь аналогичные исследования проводятся при втором его обороте вокруг Солнца, находящегося на этапе максимума активности.

Как известно, в период минимума активности Солнца его магнитное поле имеет простую структуру, похожую на диполь с магнитными полюсами, расположенными вблизи полюсов вращения Солнца. На этапе приближения солнечного максимума магнитные поля на полюсах ослабевают и в конце концов исчезают, а взамен них развиваются весьма мощные поля в пределах пятен и областей повышенной активности. Через много месяцев полярное магнитное поле возрождается, но его направление изменяется на обратное. Новые данные с аппарата «Ulysses» показали, что в период максимальной активности Солнца его магнитное поле не просто «распадается на кусочки», локализованные в солнечных пятнах: в целом оно довольно хорошо представляется диполем, ось которого перпендикулярна оси вращения Солнца.

Как выяснилось, существуют два типа солнечного ветра: с отно-

сительно постоянной высокой скоростью (от 600 до 800 км/с) и со сравнительно слабой переменной (300—600 км/с), причем они взаимодействуют между собой. Плотность и температура ветра тесно связаны со скоростями. В период солнечного минимума быстрый ветер в высоких широтах Солнца присутствует постоянно, а переменный медленный занимает лишь районы ниже широты 20° . В течение большей части солнечного цикла в полярных шапках существует по одной корональной дыре; еще несколько подобных образований наблюдается в низких и средних широтах. Стало ясно, что скоростной солнечный ветер высоких широт и полярные корональные дыры появляются и исчезают совместно. Скорости солнечного ветра на всех фазах цикла обратно коррелируют с температурами солнечной короны, и на всех широтах интенсивность потоков космических лучей меняется синхронно.

Science. 2003. V.302. №5648. P.1165 (США).

Астрофизика

Рождение протопланеты

Процесс образования планеты размером с Юпитер достаточно сложен. Для этого прежде всего необходим протозвездный диск, состоящий из газов и космической пыли и обращающийся вокруг молодой звезды. Гравитационная неустойчивость приводит к уплотнению одних частей диска и разряжению других. Столкновение и слипание отдельных частиц порождает предтечу планеты величиной приблизительно с нашу Землю. Затем вокруг этой малой протопланеты постепенно скап-

ливается газовая атмосфера, пока ее общие размеры не приблизятся к юпитерианским.

Британские астрофизики построили гидродинамическую модель, которая позволяет проследить процессы эволюции диска в планетарную систему. Оказалось, что примерно через 12 тыс. лет в диске образуется 83 самостоятельных объекта, из которых за последующие 21 млн лет в открытое пространство выбрасываются 74 объекта, причем у 19 из них массы равны юпитерианской или даже превосходят ее. Семь тел в результате гравитационных возмущений от близко проходящих звезд устраниаются от участия в дальнейших процессах планетообразования, одно тело сталкивается с центральной звездой своей системы, а еще одно остается «привязанным» к своей звезде — видимо, им является самый массивный из 83 объектов. При этом в межзвездном пространстве, вероятно, должно существовать множество «свободно плавающих» планет, которые пока еще остаются неизвестными из-за несовершенства средств наблюдения.

Science. 2004. V.303. №5654. P.16; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2003. V.346. P.L36 (США).

Астрономия

«Возможно обитаемая зона в Галактике»

Этот термин три года назад предложила ввести в научный оборот группа американских астрономов во главе с Г.Гонзалесом (G.Gonzalez; Университет штата Айова в Эймсе). Под такой зоной в далеком космосе понимается область, где, вероятно, существуют физические условия для возникновения и эволюции жизни в той или иной ее форме (в особенности многоклеточной). По мнению авторов термина, «дружественная к жизни» область охватывает сравнительно узкое и тонкое кольцо, лежащее в той же плоскости, что и орбита Солнца. Вокруг звезд здесь могут обращаться планеты, где не исключены условия для жизни.

Для тех планетных систем, что находятся близко к «перенаселенному» небесными телами центру Галактики, слишком большую опасность представляют вспышки сверхновых, а также прохождение рядом той или иной одинокой звезды, которая своим тяготением может так «взболтать» скопление комет, что они обрушатся на планету смертельным дождем. А звезды, расположенные на разреженных окраинах галактики, не содержат достаточного количества тяжелых элементов для образования планет, сколько-нибудь сходных с Землей.

Опираясь на эту гипотезу, австралийские астрофизики Ч.Х.Лайнуивер (Ch.H.Lineweaver; Университет штата Новый Южный Уэльс в Сиднее) и сотрудники Астробиологического и Астрофизического вычислительного центров сочли возможным существенно уточнить весьма общее заключение их американских коллег. Применяя современные вычислительные методы, они построили детальную математическую модель зарождения планет земного типа с момента их возникновения путем синтеза ядер при вспышках сверхновых звезд. Рассмотрена также проблема «истребления» планет земного типа в случаях, когда к «перспективному» объекту подходит слишком близко некая гигантская «бродячая» звезда. Наконец, учтено время, необходимое для возникновения более или менее сложных организмов (этот фактор поддается определению с трудом, но исследователи приняли за основу опыт Земли, где на это потребовалось около 4 млрд лет).

Вычисления показали, что пригодное для обитания звездное кольцо возникло около 8 млрд лет назад на расстоянии примерно 25 тыс. св. лет от галактического ядра, т.е. примерно на том же расстоянии от него, что и Солнце. Данная зона с тех пор постепенно то расширяется, то сужается, чего гипотеза Гонзалеса не предусматривала. Учтя эти исходные данные, австралийские ученые пришли к заключению, что зона возможного обитания охватывает менее 10%

всех звезд, когда-либо рождавшихся в пределах Галактики. Около 75% звезд, находящихся там сейчас, старше Земли в среднем на 1 млрд лет, а этот сверхдолгий период более чем достаточен, чтобы жизнь, единожды возникнув, могла бы не только достичь разумного уровня, но и прекратить затем свое существование...

Некоторые астрофизики полагают, однако, что факторы, влияющие на возникновение внеземных биологических структур, сегодня еще не могут быть учтены в принципе. Так, М.Ливини (M.Livini; Институт космического телескопа в Балтиморе) подчеркивает: «Мы еще едва-едва понимаем, как произошла и достигла сложных форм жизнь на Земле, без чего об инопланетной судить рано». Такова же точка зрения В.Тримбла (V.Trimble; Университет штата Калифорния в Ирвине): «Вычислительные методы в нашем деле хороши, пока есть уверенность в правильности исходных чисел, — указывает она. — Если для возникновения в космосе сложных форм жизни требуется вдвое больше времени, чем на Земле, области вокруг древних звезд, расположенных сравнительно близко к галактическому центру, наиболее подходящие. И это несмотря на опасность, исходящую от сверхновых и ближайших соседей, которой авторы придают чрезмерно большое значение...»

В любом случае проблема внеземной жизни перестала быть достоянием лишь фантастов, свидетельством тому — оживленная научная дискуссия вокруг гипотезы Лайнуивера и его коллег.

Science. 2004. V.303. №5654. P.27, 29 (США).

Астрономия

Кипящая планета

Группа американских астрономов во главе с В.Маджаром (V.Majar) изучила данные наблюдений четырех эпизодов покрытия звезды HD 209458 ее же собственной планетой, получившей имя Осирис. Наблюдения осуще-

ствлялись с помощью специально-го спектрографа, работающего на космическом телескопе «Хаббл».

Недавно открытая планета Осирис вместе со своим солнцем находится на расстоянии всего 150 св. лет от нас, что по астрономическим меркам совсем близко. Планета обращается вокруг звезды, делая один оборот менее чем за четверо земных суток. Удачным для ее изучения обстоятельством является то, что планета проходит прямо через луч зрения земного наблюдателя, частично перекрывая на время диск звезды. Именно благодаря этому стали возможны измерения радиуса и массы Осириса, а также определение состава его атмосферы.

Близость к своей звезде обуславливает повышенную температуру на планете. Наблюдателями прослежено бурное истечение кислорода и углерода из атмосферы Осириса в окружающее пространство. Все это заставляет ученых отнести данное небесное тело к тому классу планет, который именуется «горячими юпитерами». Судя по всему, главный «беглец» из атмосферы Осириса — это более летучий водород, который увлекает также кислород и углерод.

Примечателен прогресс, достигнутый за последнее время в астрономии: всего за десятилетие с момента, когда было открыто существование планет вне Солнечной системы, астрономы получили возможность судить об их атмосферах.

Astrophysical Journal. 2004. V.604. №2. P.L69; Science. 2004. V.303. №5665. P.1732 (США).

Астрономия

Новый подход к классификации галактик

На протяжении столетий биологи и палеонтологи классифицировали виды живых существ, опираясь исключительно на их внешний вид и анатомические особенности. Астрономы, разделив галактики на эллиптические, линзовидные, спиральные и неправильные, поступили точно так же. Основу

классификации «звездных островов» по их внешнему виду заложил 80 лет назад американский астроном Эдвин Хаббл. При всей наглядности, она во многих случаях основывалась на субъективной оценке исследователя.

В биологии революция произошла, когда ученые перешли от классификации на основе внешнего вида к классификации на основе сходств и различий в строении ДНК. Стремясь приблизить подобную революцию и в астрономии, новый подход к классификации галактик предложили М.Паре (M.Pahre; Гарвардский астрофизический центр, США) и его коллеги.

Сам Хаббл разрабатывал свою схему, изучая изображения галактик в синих лучах спектра. Однако на таких снимках изображения галактик могли существенно искажаться из-за поглощающего действия пыли, которое в этом спектральном диапазоне очень сильно. Классификация, предложенная Паре и его коллегами, основана на инфракрасных наблюдениях галактик с помощью космического телескопа «Спитцер», который способен не только различить в галактиках скрытые пылью звезды, но и наблюдать саму пыль по ее тепловому излучению. Эта возможность позволила авторам работы раздельно наблюдать звезды и межзвездную среду в галактиках различных типов.

Межзвездная среда представляет собой исходное «сырье» для образования новых звезд. Эллиптические и линзовидные галактики состоят почти исключительно из звезд; в них почти нет газа и пыли, поэтому нет и звездообразования. В спиральных и неправильных галактиках масса газа и пыли сравнима с массой звезд, и потому звездообразование протекает весьма эффективно. Все это было известно астрономам и ранее, но лишь с помощью инфракрасных наблюдений они выяснили, насколько обманчивыми могут оказаться изображения галактик в синих лучах.

«Сравните изображения одной и той же галактики в синей и инфракрасной областях спектра, —

говорит Паре, — и у вас не останется сомнений, что по инфракрасному снимку классифицировать галактику гораздо проще». В частности, горячая пыль позволяет значительно четче проследить очертания спиральных рукавов и даже выявить их наличие там, где на «синих» снимках никаких рукавов не видно. С большим удивлением Паре и его коллеги обнаружили слабые спиральные рукава в некоторых галактиках, которые ранее классифицировались как эллиптические или линзовидные. По всей видимости, эти системы представляют собой «недостающее звено» между настоящими спиральными и эллиптическими галактиками.

Паре и его коллеги предложили три количественных критерия классификации галактик, наиболее фундаментальным из которых является отношение светимости звезд к светимости нагретой пыли. Предварительная проверка показала, что эти критерии хорошо коррелируют с хаббловской схемой. «Наша конечная цель — заменить классификацию по Хабблу на классификацию по Спитцеру», — говорит Паре.

<http://www.cfa.harvard.edu/press/pr0419.html>

Планетология

Проливные дожди на Марсе?

Тот факт, что на Красной планете некогда существовала вода в жидком виде, был доказан еще в 1970-х годах, когда космические аппараты прислали на Землю изображения крупных пересохших «каналов», сформировавшихся несколько миллиардов лет назад; о том же говорила и более мелкая сеть узких долин, явно связанная с переносом влаги. Однако и по сей день неясно, каким образом эта довольно сложная система возникла на Марсе: вся влага там издавна «заперта» в скоплениях льда. Новую загадку в этой связи задают изображения, полученные телекамерой с борта аппарата «Mars Global Surveyor».

На них отчетливо запечатлен находящийся около экватора Марса ударный кратер со следами эрозии, вызванной, вероятно, неоднократными проливными дождями. Диаметр кратера около 55 км, причем по всей его кромке плотно расположены начала разветвленных оврагов — «притоков каналов», по которым, видимо, текли насыщенные осадочными породами потоки воды, попутно размывая стенки кратера. Перенесенные ими осадки отлагались на дне кратера, образуя веерообразные, местами сливающиеся друг с другом холмы и характерные конусы выноса. Геолог-планетолог Р.Уильямс (R.Williams) указывает, что точно такие же образования наблюдаются в калифорнийской пустыне Мохаве, а ее коллеги внесли в Международный астрономический союз предложение назвать новооткрытый марсианский кратер именем этой земной пустыни.

Нерешенной остается проблема: каким образом возник столь необычный кратер в то время, когда Красная планета вступила в эпоху глобального оледенения и общей засушливости климата. Необходимо также установить, уникальна ли эта крупная деталь рельефа или же подобные ей системы существуют в других областях планеты.

То, что обнаружено теперь в кратере Мохаве, возраст которого насчитывает несколько миллиардов лет, многократно превосходит все, что наблюдали до сих пор. В условиях Земли подобное скопление ливневых отложений требует для своего возникновения многих сотен мощных дождей, случившихся лишь раз в тысячелетие.

Для образования марсианских оврагов иногда предлагают механизм массового таяния снегов. Но в калифорнийской пустыне Мохаве он не мог работать. В еще меньшей степени вероятна гипотеза, согласно которой молодые овраги и конусы выноса порождены на Марсе просачиванием глубинных вод к поверхности и падением их со скальных уступов, сопровождаемым размывом почвы.

Большинство специалистов сходятся во мнении, что влага,

принесшая эти отложения, поступала непосредственно из атмосферы в виде дождя или снега, но ее количество и странная эпоха для выпадения — ледниковая — остаются загадочными. Единственно мало-мальски правдоподобная гипотеза сводится к тому, что удар метеорита, образовавший сам кратер Мохаве, одновременно растопил массу льда и снега, скопившуюся под поверхностью, и вода мгновенно превратилась в пар. В условиях марсианского оледенения он тут же конденсировался, и влага обрушилась обратно в кратер. Однако этому противоречит тот факт, что конусы выноса выглядят так, словно они возникли при неоднократных эпизодах мощного излияния вод, а не в ходе одной-единственной катастрофы.

Геолог-планетолог Дж.Мур (J.Moore) предположил, что снега и льды на возвышенностях вокруг кратера Мохаве таяли во время коротких потеплений и увлажнения марсианского климата, но возражающая ему Уильямс указывает, что в этом случае таяние снегов происходило бы недостаточно быстро и водные потоки оказались бы слишком слабы, чтобы привести к столь крупномасштабным последствиям...

Проблема оказалась в центре внимания Конференции по изучению Луны и планет (Хьюстон, март 2004 г.), в которой участвовали более 1 тыс. специалистов из различных стран мира. Общепризнанного решения они выработать не смогли.

Science. 2004. V.304. №5668. P.196 (США).

Физика

Топ-кварк стал тяжелее

В таблицы по физике элементарных частиц нужно внести поправку: средняя масса топ-кварка теперь определена в 178.0 ± 4.3 ГэВ/ c^2 (c — скорость света). Такой итог выполненного под руководством Т.Фербеля¹ тщательного анализа данных экспериментов на

¹ Ferbel T. // Nature. 2004. V.429. №6992. P.638—642.

протон-антипротонном коллайдере «Теватрон» Лаборатории им.Э.Ферми (США) в сочетании с результатами родственного эксперимента CDF. Фигурировавшая ранее величина была меньше на ≈ 4 ГэВ/ c^2 ; погрешность при определении нового значения снизилась на 15%. Казалось бы, не такая уж заметная разница. Но надо учесть, что точное значение массы этого самого тяжелого из кварков очень интересует теоретиков, и экспериментаторы почти 10 лет стараются найти ее как можно надежнее (топ-кварк был открыт в 1995 г. на «Теватроне»). Эта масса — ключевой параметр для предсказания многих наблюдаемых величин. От ее квадрата, согласно Стандартной модели, зависит ряд достаточно точно измеренных характеристик. А даже небольшое расхождение между предсказанными и измеренными значениями может означать, что пришлось столкнуться с новыми явлениями, выходящими за рамки модели.

Стандартная модель действительно нуждается в расширении. Хотя она с блеском выдержала многочисленные экспериментальные проверки, универсальной теорией фундаментальных взаимодействий служить эта модель не может, поскольку охватывает лишь три из них — электромагнитное, слабое и сильное, но не включает гравитационное. Есть и ряд других проблем, где она не дает ответов на вопросы. Пожалуй, самое перспективное развитие Стандартной модели связано с суперсимметрией: последняя может оказаться низкоэнергетичным пределом теории, распространяющейся на область более высоких энергий и описывающей в том числе и гравитацию. Суперсимметричные теории предсказывают, что для всех известных частиц есть частицы-партнеры. Минимальное суперсимметричное расширение Стандартной модели предполагает наличие пары суперпартнеров для каждого кварка и лептона, суперпартнеров для переносчиков взаимодействия, а также пяти бозонов Хиггса, причем массы всех этих частиц зависят от массы топ-кварка.

Бозоны Хиггса присутствуют и в самой Стандартной модели — именно они, как предполагается, сообщают материи массу — но пока все попытки экспериментально обнаружить их были безуспешны. Однако в Стандартной модели масса бозона — свободный параметр, который можно оценить лишь косвенным путем, через глобальную подгонку теоретических данных под экспериментальные. А в суперсимметричных моделях вследствие их более высокой степени симметрии масса самого легкого бозона Хиггса предсказывается непосредственно. Причем она очень чувствительна к величине массы топ-кварка — зависит от нее в четвертой степени. Иными словами, чем точнее мы знаем массу топ-кварка, тем определеннее можем оценить нижний предел энергий, достаточных для поиска бозона Хиггса. Расчеты на основе последних данных о массе топ-кварка показывают, что наиболее вероятной его массой следует считать $117 \text{ ГэВ}/c^2$ (не исключены и большие значения, вплоть до верхней границы $140 \text{ ГэВ}/c^2$). Теперь ясно, что попытки обнаружить эту частицу на недавно закрытом Большом электронно-позитронном коллайдере LEP в ЦЕРНе, рассчитанном на максимальную энергию в 114 ГэВ , были обречены на неудачу. «Теватрон» также не может обеспечить необходимую для этого энергию. Так что для обнаружения бозона Хиггса остается надеяться на строящийся в ЦЕРНе большой адронный коллайдер LHC.

А пока надо стремиться еще больше снизить погрешность в определении массы топ-кварка. Благодаря данным текущих экспериментов на «Теватроне» (фаза работы Run II) есть шанс довести ошибку до $2\text{—}3 \text{ ГэВ}/c^2$. Обеспечить самую большую точность (уменьшить погрешность на порядок) мог бы линейный электронно-позитронный коллайдер. Сейчас такой ускоритель проектируется и, возможно, будет построен в ближайшие 10 лет.

Nature. 2004. V.429. №6992. P.613—615 (Великобритания).

Электроника

Магниторезистивная память с произвольной выборкой

Американская компания «Motorola» анонсировала создание первой в мире магниторезистивной памяти с произвольной выборкой (Magnetic Random Access Memory — MRAM) емкостью 4 Мб (сейчас проходят испытания опытных образцов). Новый вид запоминающих устройств — продукт спинтроники, быстроразвивающейся области нанoeлектроники, использующей в качестве носителя информации спин электрона. Изготавливается MRAM по $0.18\text{-микрометровой}$ технологии, каждая ячейка содержит транзистор, магнитный туннельный переход и медные контакты. Устройство сочетает лучшие качества полупроводниковой памяти (большой срок службы и высокое быстродействие) и магнитных дисков (способность сохранять данные при отключенном питании).

В перспективе MRAM может заменить собой значительную часть рынка полупроводниковых запоминающих устройств (сегодня он оценивается в $48 \text{ млрд долл. США}$). Использование нового вида памяти в персональных компьютерах и мобильных телефонах позволит снизить вероятность утери данных, уменьшить время загрузки и увеличить срок службы батареек.

Благодаря надежности и длительному сроку службы MRAM пригоден для применения в жестких или требующих длительного жизненного цикла условиях, например в автомобильной промышленности («интеллектуальных» автомобилях будущего, которым требуется неразрушаемая память с высоким быстродействием при большом числе циклов считывания—записи). Военно-промышленная фирма «Honeywell» уже приобрела лицензию на MRAM-технологии для военных и аэрокосмических целей.

Сразу с двумя оборонными организациями — Управлением по снижению военной угрозы и

Агентством перспективных исследований в интересах обороны — заключила контракты на разработку новой (магнитно-термической) модификации MRAM американская компания «NVE Corp.». Фирма уже имеет ряд основополагающих патентов на эти устройства — в них используется эффект сверхбыстрого нагрева импульсами электрического тока, приводящего к увеличению плотности записи данных и снижению требуемой для записи энергии. Магнитно-термическая память может стать конкурентом DRAM — полупроводниковой памяти с максимальным на сегодня объемом хранения данных.

<http://www.spacedaily.com/news/chip-tech-03u.html>; <http://www.motorola.com/content/1,3306,296,00.html>; http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_09/index.htm

Электроника

Органические дисплеи — это перспективно

В настоящее время используются два типа органических светоизлучающих материалов, отличающихся друг от друга размером молекул. Из светодиодов «на малых молекулах» («органическими» называют именно их) изготавливают красные, голубые и зеленые излучатели. У последних самые лучшие характеристики: $10\text{—}15 \text{ кд/А}$ (что сравнимо с современными коммерческими полупроводниковыми светодиодами) и $7\text{—}10 \text{ лм/Вт}$ (примерно как у ламп накаливания). У светодиодов «на больших молекулах» (полимерных) гамма цветов не столь богата, как у органических, но их защитники убеждены в перспективности этих устройств. Оба типа цветных светодиодов можно также делать на основе эмиттеров белого цвета и крошечных цветных светофильтров.

Дисплеи, использующие органические и полимерные светоизлучающие материалы, разрабатывают около 100 фирм (для военных особый интерес представляют гибкие дисплеи, которые можно использовать в полевых усло-

виях: например, чтобы солдат смог развернуть светящуюся карту местности). Общий объем продаж этих устройств в 2003 г. составил 219 млн долл., а в 2009 г. дойдет, по некоторым оценкам, до 3.1 млрд долл.

http://perst.isssph.kiae.ru/inform/perst/4_08/index.htm

Биология развития. Палеоантропология

Мозг человека развился благодаря редукции жевательных мышц?

С тех пор как Дарвин обосновал гипотезу происхождения человека от обезьяноподобных предков, получены убедительные ее подтверждения, как палеонтологические, так и молекулярно-генетические. Хотя антропологи не сомневаются в том, что у человека и обезьян имелся общий предок, осталось множество нерешенных вопросов, касающихся механизмов и стадий эволюции гоминид.

Группа американских исследователей из Пенсильвании получила данные, которые, по-видимому, проливают свет на эволюцию черепа и мозга человека¹. Предполагаемые предки рода *Homo* — австралопитеки — имели, подобно современному человекообразному обезьянам, мощные жевательные мышцы, управлявшие движением нижней челюсти, и череп с высоким сагиттальным (проходящим в переднезаднем направлении) гребнем, к которому прикреплялись эти мышцы. Все представители рода *Homo* обладали и обладают сравнительно слабо развитыми жевательными мышцами и более или менее равномерно выпуклым черепом. Пенсильванские ученые обнаружили, что у человека, в отличие от человекообразных обезьян, ген *MUN16*, обеспечивающий формирование массивных жевательных мышц, представлен мутантным аллелем, не дающим характерного для данного гена эффекта. Ген *MUN16* кодирует специфическую разновидность миозина

(белка, составляющего основу мышечных волокон), свойственного именно жевательным мышцам. Если «жевательный» миозин не синтезируется, в ходе развития формируются намного менее массивные жевательные мышцы. Молекулярные методы анализа позволили сделать вывод, что данная мутация возникла около 2.4 млн лет назад, т.е. примерно тогда, когда предки современного человека лишились выдающихся жевательных способностей — появился род *Homo*.

Значение этого открытия велико: по-видимому, обнаружено первое функционально-генетическое отличие человека от человекообразных обезьян, возникновение которого отражено в ископаемых материалах. Авторы предполагают, что утрата массивных жевательных мышц позволила предкам человека изменить форму черепа — расстаться с продольным гребнем и увеличить объем мозговой капсулы, а следовательно, и объем мозга. Без редукции жевательных мышц такие преобразования были бы невозможны. Но если человеческий мозг смог развиваться благодаря тому, что ослабели челюсти, возникает вопрос — почему мутация, вызвавшая редукцию жевательных мышц, была поддержана отбором? Одно из возможных объяснений состоит в том, что одновременно с этим изменением предки человека перешли к такому рациону, который в целом требовал меньших жевательных усилий². Другое объяснение основано на предположении, что они научились лучше обрабатывать пищу руками, и необходимость в мощном жевательном аппарате отпала. Могут быть и другие гипотезы. Нерешенным вопросам по-прежнему нет числа, но полученные результаты вызывают надежду, что генетические основы эволюции человека будут определены в ходе дальнейших исследований.

© Петров П.Н.,

кандидат биологических наук
Москва

Генетика. Экология

Парадоксальное увеличение генетического разнообразия ящериц-вселенцев

Популяции видов растений и животных, быстро заселяющих новые территории и успешно вторгающихся в сложившиеся биоценозы, нередко берут начало от очень небольшой группы особей, волею судеб оказавшихся в новой местности — вне исконного ареала. Пройдя через «бутылочное горлышко» низкой численности, они обычно характеризуются сильно обедненным генетическим составом, а связанные с этим недостатки, по-видимому, никак не сказываются в течение непродолжительного времени или компенсируются какими-то важными экологическими преимуществами, проявляющимися в новой обстановке.

Результаты, противоречащие традиционной точке зрения, а именно — обнаружение повышенного генетического разнообразия в локальных популяциях вселившегося вида (в сравнении с его локальными популяциями в пределах исконного ареала), получил недавно Дж.Колб совместно со своими коллегами³. Объектом исследований был бурый анолис (*Anolis sugrei*) — ящерица, исконно обитавшая на Кубе, но проникшая в течение минувшего столетия на п-ов Флорида, а также на острова Ямайка, Гавайи, Большой Кайман, Тайвань и некоторые другие. Расселение анолиса по Флориде особенно хорошо документировано.

Известно, что еще в конце XIX в. эта ящерица появилась на островах Флорида-Кис, находящаяся недалеко от южной оконечности полуострова, а затем и на материке, но вплоть до 1940 г. ее новый ареал был очень небольшим. Позже область обитания анолиса стала быстро расширяться (особенно в 70-е годы), и охва-

¹ Stedman H.H. et al. // Nature. 2004. V.428. P.415—418.

² Currie P. // Nature. 2004. V.428. P.373—374.

³ Kolbe J.J. et al. // Nature. 2004. V.431. P.177—181.

тила всю Флориду; по-видимому, это было результатом новых вселений, а не простого увеличения ареала той локальной популяции, что уже давно существовала на юге полуострова.

Чтобы проверить гипотезу о повторных вселениях, Колб и его коллеги провели тщательное генетическое исследование 71 локальной популяции анолиса на Кубе (разбросанных по всему острову), а также 59 «новых» популяций вне основного ареала — главным образом в разных местах п-ова Флорида, а кроме того на островах Флорида-Кис и некоторых других (Большой Кайман, Ямайка, Гавайи, Тайвань). Из каждой популяции отлавливали от 1 до 10 особей (в большинстве случаев по пять). Филогенетический и популяционно-генетический анализ основывался на структуре одного участка митохондриальной ДНК (примерно 1200 пар оснований) у более чем 300 особей. Выяснилось, что если на Кубе разные гаплотипы четко распределены по отдельным частям ареала, охватывающего весь остров, то на большей части Флориды в каждой локальной популяции присутствуют по два-три и даже по четыре разных гаплотипа. Интересно, однако, что на о-вах Флорида-Кис генетическое разнообразие анолиса меньше и представлено теми видами, которые характерны для ящериц западной части Кубы, откуда скорее всего и шло первоначальное расселение.

Высокое генетическое разнообразие популяций *Anolis sugrei* на п-ове Флорида можно объяснить только неоднократными вселениями этого вида, причем из разных мест на Кубе. На Ямайке, куда анолис, видимо, давно проник естественным образом, отмечены только два гаплотипа — встречающиеся у анолисов центральной и восточной частей Кубы. На Тайване и Большом Каймане также по два гаплотипа, но характерные для западных районов Кубы.

Повышенное генетическое разнообразие локальных популяций видов-вселенцев — явление неожиданное, но благоприятное для

дальнейшего процветания таких видов на новых территориях.

© Гиляров А.М.,
доктор биологических наук
Москва

Генетика

Когда и откуда пришли первоавстралийцы?

Результаты недавних генетических и палеоэкологических исследований показали, что в Австралии люди поселились не ранее 60 тыс. лет назад. Сопоставление 188 образцов ДНК, взятых у аборигенов из различных районов Австралии, с 61 образцом ДНК других народов мира выявило наличие у австралийцев трех древних мутаций. Некоторые вариации одной из них совпадают с имеющимися у народов Южной Индии и Юго-Восточной Азии, другой — с характерными для жителей Индонезии и некоторых районов Китая. Это означает, что человек мог прийти на Пятый континент двумя путями.

Группа австралийских специалистов во главе с Р.Скоттом (R.Scott; Ньюкаслский университет) сопоставила различия в гене цитокина (белка, регулирующего воспалительную реакцию на инфекцию) у 2620 британцев и австралийцев европейского происхождения, у 118 аборигенов, населяющих Северную территорию страны, и у 32 коренных жителей Бангладеш. Выяснилось, что генотипы, редкие для аборигенов, характерны для англичан и австралийцев с европейскими корнями, и наоборот. Бангладешцы же оказались промежуточным звеном между теми и другими. Значит, человеческий поток в Австралию шел через Индостан. Этот вывод подтверждается исследованиями специалиста по молекулярной антропологии Дж.Митчелла (J.Mitchell; Латробский университет в Мельбурне, Австралия), который прослеживал ход миграции людей по данным об Y-хромосоме. Результаты этих работ дают и близкие оценки времени миграций.

Science. 2003. V.302. №5645. P.555 (США).

Зоология

Каляанский погоньш — птица с Филиппин

В мае 2004 г. совместная англо-филиппинская экспедиция орнитологов нашла в дождевых лесах о.Калаян (архипелаг Балаян, расположенный на севере Филиппин) птиц размером с ворону, темно-коричневых, с оранжевыми клювом и лапами. Оказалось, что это новый вид погоньша из рода пастушковых. Своего зоологического названия он еще не получил, пока его называют калаянским погоньшем. Члены экспедиции видели этих птиц неоднократно, и взрослых, и молодых, причем всегда они бегали по земле. Одну птицу изловили; вскрытие показало, что ее грудная мускулатура слишком слаба, чтобы крылья могли поднять калаянского погоньша в воздух. Похоже, что птицы этого вида практически нелетающие, хотя, возможно, при необходимости могут, подобно цыплятам, вспархивать на нижние ветви деревьев.

Большинство погоньшей (а их известно порядка 20 видов) — околотовные птицы, но именно в тропической Азии некоторые виды обитают в лесах. Неудивительно, что раньше калаянский погоньш не попадал в руки ученых: орнитологические экспедиции не посещали остров уже более века. Однако местные жители птицу знают и называют «пидинг».

По оценкам участников экспедиции, в калаянской популяции всего 100—200 пар птиц. Сейчас остров относительно слабо населен (8500 человек), и непосредственной угрозы виду вроде бы нет. Но есть опасения, что развитие инфраструктуры острова, строительство дорог и новых поселений с неизбежными для них собаками, кошками и крысами может такую угрозу создать, и, следовательно, меры по сохранению только что открытого вида надо предусмотреть уже сейчас.

BBC News. 2004. August 16;
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3569160.stm>

Радиоэкология

Нерв под воздействием частиц высокой энергии

Заряженные частицы высокой энергии применяются для разных практических целей, например для радиотерапии опухолей мозга. Отсюда интерес к влиянию таких частиц на функционирование нервных клеток. Именно это направление исследований выполнила группа ученых из трех московских учреждений (Института медико-биологических проблем РАН, биологического факультета Московского государственного университета и Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ).

В экспериментах миелиновые седалищные нервы травяной лягушки подвергали воздействию α -частиц и дейтронов, ускоренных в циклотроне НИИЯФ до энергий 30.3 и 15.4 МэВ соответственно, а затем изучали, как меняются скорость проведения потенциала действия (ПД) и его амплитуда в зависимости от поглощенной дозы.

Выяснилось, что сам потенциал действия при облучении α -частицами или дейтронами не возник. Если он уже был вызван электрическим импульсом, то амплитуда и скорость проведения ПД снижались по мере увеличения поглощенной дозы, причем амплитуда менялась сильнее под действием α -частиц, а скорость проведения — при облучении дейтронами.

Как известно, оптимальная скорость проведения ПД в миелиновом нерве в первую очередь обеспечивается стабильностью структуры миелина. Однако молекулярные механизмы действия заряженных частиц на функционирование нерва изучены недостаточно. Высказывалось лишь предположение, что проведение ПД нарушается, если меняются структура и радиус мембранных белков-каналов, в результате чего в нервном волокне накапливаются ионы натрия. Но неясно, с какой именно областью нерва связаны

эти изменения. Данные авторов косвенно свидетельствуют, что дейтроны с большей эффективностью действуют на миелиновую оболочку, а α -частицы — на перехваты миелиновых волокон (перехваты Ранвье). Поэтому действие заряженных частиц на амплитуду проведения ПД и на его скорость различается.

Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. Т.4. С.52—55 (Россия).

Экология

Неравное соотношение полов в выводках чайки Одуэна

Все мы привыкли к тому, что вероятность рождения мальчика или девочки в семье примерно одинакова. Так же обстоит дело и у большинства позвоночных, особенно у млекопитающих и птиц. Однако из этого, казалось бы, незыблемого правила существуют исключения. Одно из них изучали испанские биологи во главе с М.Геновартом¹. Объектом исследования они избрали чайку Одуэна (*Larus audouinii*), которая гнездится колониями, в основном на юге Европы (главный ее ареал — Испания). Насиживание начинается с первого яйца (обычно их бывает три), поэтому птенцы вылупляются с интервалом в 1 день.

Геноварт с коллегами на протяжении нескольких лет анализировали соотношение полов в потомстве этих чаек в зависимости от того, отложены яйца в начале сезона гнездования или в конце. Пол птенца определяли по ДНК, полученной из крови, и вот что выяснилось. Для птенца, который вылупился первым, вероятность оказаться самцом составляла 50% (т.е. равна вероятности оказаться самкой) в начале периода гнездования и увеличивалась в конце. Птенцы, вылупившиеся вторыми и третьими, в начале и в конце сезона с большей вероятностью были самками, а в середине — самцами.

Получив такие замысловатые результаты, авторы и сами до кон-

ца не могут в них разобраться. Поэтому извечный биологический вопрос — не адаптивно ли обнаруженное явление? — в данном случае пока остается без ответа. Тем не менее известно, что более крупные самцы нуждаются в большем количестве корма и потому хуже переносят голод; у птенцов, вылупившихся раньше, вероятность выжить больше; чайки, гнездящиеся позднее, могут быть молодыми или больными птицами, т.е. неспособными полноценно заботиться о потомстве. Естественно, для выполнения главной задачи, стоящей перед родителями, — вырастить как можно больше птенцов — определенное значение могут иметь и другие факторы.

© Опаев А.С.,
Москва

Сейсмология

«Парные» землетрясения часты и информативны

Ежесуточно на Земле регистрируются сотни сейсмических событий. Данные о времени возникновения волны, порожденной толчком, и скорости ее распространения позволяют устанавливать координаты эпицентра толчка, определять глубину залегания очага и момент самого события. Однако этот традиционный метод не очень точен: место, где зародилось землетрясение, может быть названо с ошибкой, достигающей нескольких процентов от расстояния между сейсмическими станциями. А это затрудняет понимание взаимодействия между соседними событиями и построение сколько-нибудь точной модели строения земных недр.

Усовершенствованию методов изучения таких событий посвящена работа научных сотрудников Обсерватории по изучению Земли им.Ламонта и Доэрти при Колумбийском университете Д.П.Шаффа (D.P.Schaff) и П.Дж.Ричардса (P.G.Richards). Они проанализировали данные, описывающие 14 тыс. землетрясений (в том числе и наведенные, вызванные промышленными взрывами), которые произо-

¹ Condor. 2003. V.105. №4. P.783—790.

шли на территории Китая и в прымающихся к нему районах за 1985—2000 г. Обнаружилось, что около 10% всех таких событий — это парные землетрясения, случившиеся на расстояниях не более 1 км друг от друга. Формы вызванных ими сейсмических волн оказались весьма сходными.

Время поступления сейсмических волн установлено с точностью до 0.01 с, что позволило уменьшить погрешность определения места возникновения толчка до 100—300 м. Это важно как для выяснения степени опасности самого явления, так и для изучения физики землетрясений, строения земной коры и тектонических структур, а также для проверки соблюдения международных договоров о запрете испытаний атомного оружия.

Science. 2004. V.303. №5661. P.1176 (США).

Сейсмология

Статистика жертв

По данным Геологической службы США и Бюро координации гуманитарных акций ООН, число погибших в 2003 г. от землетрясений составило (на момент публикации сведений) 32 819 против 1711 в 2002 г. и 51 916 в 1990 г. Только одно землетрясение в иранском городе Бам в декабре 2003 г. унесло 30 тыс. человеческих жизней, хотя окончательный подсчет жертв может еще увеличить это число.

Сила толчков и масштабы потерь от них отнюдь не всегда коррелируют между собой: мощнейшее землетрясение на о.Хоккайдо 25 сентября 2003 г. (магнитуда 8.3) не повлекло никаких жертв; «только» два человека погибли 22 декабря того же года при землетрясении магнитудой 6.5 в калифорнийском Сан-Симеоне. С другой стороны, несоблюдение норм антисейсмического строительства стоило жизни 2266 жителям Алжира при землетрясении 21 мая 2003 г. магнитудой 6.8. Ежедневно в мире регистрируют 18 землетрясений с магнитудой от 7 до 7.9,

и только одно событие достигает магнитуды 8 по шкале Рихтера.

Sciences et Avenir. 2004. №685. P.37 (Франция).

Гляциология

Южноамериканские ледники тают

Сведения о водно-ледовом балансе Патагонии до сих пор были очень скудными. Между тем информация об этом малозаселенном и труднодоступном регионе Южной Америки, где более 17 тыс. км² занимают ледники, важна: хотя патагонское оледенение по территории примерно вчетверо меньше аляскинского¹, его влияние на повышение уровня Мирового океана в пересчете на единицу площади в полтора раза выше.

Недавно американо-чилийская группа исследователей под руководством Э.Риньо (E.Rignot; Лаборатория реактивного движения в Пасадене, США) получила весьма точные сведения о динамике ледового покрова Патагонии. Ученые сопоставили показания приборов с американского космического аппарата «Shuttle», проводившего радиолокационную топографическую съемку поверхности Земли в поясе между 60°с.ш. и 57°ю.ш. начиная с 2000 г., а также данные системы GPS (точность которых около 7 м по вертикали и 90 м по горизонтали) с данными наземных и аэрофотосъемок, осуществленных в 1968, 1975 и 1995 гг. географическими институтами Аргентины и Чили. Оказалось, что за последние десятилетия многие ледники и их притоки значительно отступили. Особенно быстро теряли массу ледники Хорге Монтт, Греве, Амалия, Диксон, Упсала и О'Хиггинс (последний отступил в наибольшей степени — на 14 км). В конце 90-х годов у многих ледников темпы сокращения удвоились. На юге Патагонии лишь один крупный ледник оказался растущим — Пио XI.

Главной причиной уменьшения массы ледников исследовате-

¹ См. также: Ледники Аляски сокращаются // Природа. 2003. №3. С.81.

ли считают потепление климата: по метеорологическим данным, за истекшее столетие в регионе к югу от 46°ю.ш. средние температуры повысились на 0.4—1.4°С.

Science. 2003. V.302. №5644. P.434 (США).

Климатология

Новый метод изучения плавучих льдов Антарктики

Определять границу распространения плавучих льдов в Южном океане по принципиально новой методике предложила группа ученых под руководством М.А.Каррена (M.A.Curran; Центр изучения антарктического климата и экологических систем в Хобарте, Австралия). В качестве индикатора исследователи использовали концентрацию в колонках льда метилсульфоновой кислоты (CH₃SO₃H). Это соединение представляет собой продукт окисления диметилсульфида, который выделяется фитопланктоном, населяющим ледовую зону моря. Диметилсульфиды интенсивно образуются в летний период в тех районах, которые предшествующей зимой были покрыты льдами.

Анализ показал, что граница плавучих льдов в морском секторе между 80 и 140°в.д. с 1950 г. отступила более чем на 1° географической широты. Это стало полной неожиданностью, поскольку не соответствует температурной тенденции, регистрируемой метеостанциями в данном районе.

Science. 2003. V.302. №5648. P.1164, 1203 (США).

Океанология. Метеорология

Ключ к прогнозу — ветер над морем

С появлением скаттерометров — усовершенствованных радиолокаторов с высокой разрешающей способностью, установленных на борту искусственных спутников Земли, стала доступна надежная информация, описывающая систему ветров у поверхно-

сти океана и позволяющая построить достоверную модель состояния самой поверхности. Этой работой последние четыре года занималась группа американских океанологов и метеорологов во главе с Д.Б.Челтоном (D.B.Chelton). В ее основу была положена информация, получаемая от скатерометра типа «Seawinds», запущенного со спутником «QuickSCAT». Разрешающая способность прибора 25 км, скорость и направление ветров измерялись практически над всей поверхностью Мирового океана.

Анализ данных показал неожиданно высокую организованность и устойчивость мелкомасштабных ветровых полей над океаном и их информативность в отношении взаимодействия между движением атмосферных масс и топографией как суши, так и морской поверхности. Эта информация была сопоставлена с данными, ранее полученными от спутников «Seasat» (США, 1978), «Earth Remote Sensing» (Европейское космическое агентство, 1991) и др., а также с материалами, которые были собраны системой морских буев международной сети ТАО (Tropical Atmosphere Ocean), созданной главным образом для прогноза явления Эль-Ниньо—Южная осцилляция.

Наблюдения на поверхности океана в основном подтвердили надежность космических данных. Некоторые различия в регистрируемых скоростях ветра, которые сначала пытались объяснить ошибкой в калибровке приборов, имеют, как оказалось, геофизическое происхождение: они возникают под влиянием морских течений. При одной и той же скорости ветра обратное рассеяние оказывается большим, когда морское течение идет навстречу ветру, чем когда они имеют одинаковое направление. Разница между скоростями ветра, измеряемыми системой буев ТАО и ИСЗ «QuickSCAT», подтверждает (после устранения случайных факторов) существование сезонной цикличности течений, о которых уже сообщали

приборы, применявшиеся в совместных франко-американских космических экспериментах TOPEX (Topography Experiment) и «Poseidon».

Спутниковые наблюдения над полосой Тихого океана у западного побережья США подробно фиксируют сложные процессы взаимодействия морской поверхности с атмосферой в районе Калифорнийского течения. Особенно характерна акватория около 40°с.ш., где направление и скорость ветров зависят от очертаний побережья. Здесь интенсивные ветры порождают мощный апвеллинг (верхний слой охлаждается и обогащается питательными веществами).

Особенно плодотворна для исследований координация различных космических программ, в первую очередь WOCE (World Ocean Circulation Experiment), проведенный в истекшем десятилетии, а теперь продолженный проектами IOBS (Integrated Ocean Observing System) и NPOESS (National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System). Однако дальнейшая международная кооперация в этой области находится под угрозой: Европейское космическое агентство включило в свои планы запуски ИСЗ со скатерометрами новейшей конструкции, тогда как НАСА подобных шагов в ближайшее время не предусматривает, намереваясь измерять поверхностный вектор ветра с помощью поляриметрических микроволновых радиометров, точность которых в сложных метеорологических условиях вызывает сомнения. Science. 2004. V.303. №5660. P.962, 679 (США).

Археология

Неизвестная культура бронзового века

Группа археологов во главе с К.Ламбергом-Карловски (K.Lamberg-Karlovsky; Гарвардский университет в Кембридже, США) обнаружила на территории Ирана следы неизвестной культуры. Сот-

ни каменных сосудов, чаш, блюд и кубков, украшенных прекрасной гравировкой, и остатки архитектурных деталей свидетельствовали, что в плодороднейшем оазисе к северу от Ормузского пролива, рядом с современным поселком Джирофт, ранее 2-го тысячелетия до н.э. существовало развитое общество. Скорее всего, оно не уступало по своему значению хараппской цивилизации и служило мостом между ней и шумерским царством.

Джирофтские ремесленники специализировались главным образом на изготовлении сосудов из хлорита — зеленоватого чешуйчатого минерала, весьма прочного, но легко поддающегося обработке. На внешних стенках сосудов изображены различные растения; здания, похожие на зиккураты; неизвестные нам божества; не встречающиеся в других культурах полуплюди-полуживотные (например, скорпионочеловек) и колелопреклоненные женщины в окружении рогатых животных. О возрасте находок точно судить пока трудно, их датируют примерно 3-м тысячелетием до н.э. Подобные сосуды ранее находили весьма далеко отсюда, причем не только на берегах Персидского залива, но и в Сирии (правда, схожи они лишь формой — рельефных украшений у сирийских сосудов нет), и в Центральной Азии (в Узбекистане и Туркменистане).

Джирофтская цивилизация занимала весьма большую для того времени территорию — не менее 400 км². Предстоит исследовать около 300 курганов (по оценкам специалистов, основная часть археологических материалов залегает на глубине 3—4 м). Уже вскрыты остатки какого-то крупного каменного сооружения (возможно, крепостной стены), достигающего 30 м в длину. По мнению специалиста по ближневосточной археологии Р.Дайсона (R.Dyson), именно джирофтская культура станет главным объектом раскопок в предстоящее десятилетие.

Science. 2003. V.302. №5647. P.973 (США).

Зимовка в Ледяной Гавани

В.С.Корякин,
доктор географических наук
Москва

С именем голландского моряка Виллема Баренца связаны троекратные попытки плавания по будущему Северному морскому пути в «страны пряностей» — Китай и Индию — и название Баренцева моря. И хотя в путешествиях 1594 и 1595 гг. Баренц выполнял обязанности капитана одного из судов, а 1596 г. был главным штурманом, в историю полярного мореплавания именно он вошел как руководитель всех трех голландских экспедиций.

Рецензируемая книга написана ведущими специалистами по арктической археологии и посвящена исследованиям одного из выдающихся памятников истории освоения Севера — места зимовки третьей голландской экспедиции в Ледяной Гавани, расположенной на северном участке восточного берега архипелага Новая Земля. В книге обобщены материалы, полученные здесь в период с 1871 по 1995 г. Общее количество обнаруженных находок составляет 11 200 единиц, хранящихся в музеях и научных учреждениях Голландии, Норвегии и России. Особенно выразительно собрание предметов, находящееся в Рейксмузее (Амстердам), которое было составлено из первых сборов внутри еще не пол-

ностью разрушившегося жилища в конце XIX в. — документы и печатные материалы, навигационное оборудование, инструменты, предметы домашнего обихода, оружие, и т.д. Эта «элитарная» коллекция и ее каталоги хорошо известны в научном мире, чего не скажешь о результатах российских исследований в Ледяной Гавани; именно им посвящена большая часть книги, написанной участниками российско-нидерландской экспедиции 1993—1995 гг., сотрудниками Института археологии РАН.

Особый интерес к третьей экспедиции Баренца объясняется тем, что западноевропейские моряки впервые зимовали в экстремальных условиях Арктики, и полученный ими опыт имел важнейшее значение для последующих поколений полярных исследователей. Кроме того, записки Геррита де Фера, одного из участников этого путешествия, содержат крайне важные сведения о мореплавании на Севере вообще и русском в частности, а также об освоении поморами полярных архипелагов, нигде более в литературе не встречающиеся.

Книгу открывают «исторические» главы, написанные В.Л.Державиным. Первая именуется «Русские росписи XVII в. о плаваниях голландцев к Новой Земле» и повествует о докумен-



В.Ф.Старков, В.Л.Державин. ЭКСПЕДИЦИЯ ВИЛЛЕМА БАРЕНЦА НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ.

М.: Научный мир, 2003. 212 с.

тах, хранившихся в приказе Тайных дел, подготовленных для царя Алексея Михайловича на основе голландских источников, по-видимому, для каких-то служебных целей.

Вторая глава — «Голландские экспедиции 1596 и 1597 гг.» — собственно плавание судов к месту зимовки и возвращение в Голландию. В ней автор восстанавливает маршруты, «привязывая» события, описанные Де Фером, например, гибель участников экспедиции (и соответственно перспективы поиска их погребений), к современной карте на основе голландских топонимов. К сожалению, далеко не во всех случаях они могут быть однозначно отождествлены с нынешними географическими названиями. Это показали предшествующие попытки нескольких полярных историков, начиная с Ф.П.Литке, В.Ю.Визе и кончая автором настоящей рецензии. Так и не удалось выяснить расположение на Новой Земле полярной промысловой базы в районе мыса Шанц, находящейся, по-видимому, в современной губе Строгановой, или крестов на Крестовых о-вах, которые также могли бы стать объектом археологического изучения в будущем. Но эта работа обычно затрудняется неизбежными опечатками, характерными для старинных изданий, — именно они и вызвали целый ряд несоответствий голландских названий с современными картами.

Несомненная заслуга автора этой главы в том, что здесь отмечена помощь русских поморов, несколько раз предоставлявших собственную провизию и указывающих путь, что позволило голландцам не умереть с голоду и вернуться на родину. Это положило начало доброй традиции, впоследствии имевшей многократное продолжение на протяжении веков. Вспомним, например, спасение участников австро-венгерской экспедиции К.Вейпрехта и Ю.Пайера в 1874 г. в Пуховом заливе (Новая

Земля) или рейс ледокола «Красин» в 1928 г. к месту крушения дирижабля «Италия» на дрейфующих льдах у берегов Шпицбергена, и т.д.

Третья и четвертая главы написаны В.Ф.Старковым. Они посвящены открытию места зимовки, результатам раскопок в Ледяной Гавани, а также поискам погребений голландских моряков, в первую очередь самого Баренца, которые оказались безрезультатными, и, видимо, не случайно.

Весной 1871 г. норвежский промысловик Э.Карлсен отправился на промысел моржей на север Новой Земли и, сойдя на берег в Ледяной Гавани, обнаружил остатки полуразрушенной деревянной постройки из плавника и судового дерева размером 10×6,3 м. Внутреннее пространство дома было покрыто слоем льда, на поверхности которого были видны остатки нар и пяти деревянных корабельных ящиков. Обнаружилось большое количество предметов: два медных котла, два лома, сундук и т.д. Зарисовав дом и забрав вещи с собой, Карлсен соорудил гуррий, в котором оставил письмо, запаянное в жестяную банку. В нем он сообщал о своих находках, которые по его мнению, были оставлены русским мореходом Саввой Ложкиным или голландским мореплавателем Виллемом Баренцем. Позже эта коллекция была куплена голландцами. Через три года на зимовке побывал еще один норвежец — М.Гундерсен, а в 1876 г. — англичанин Ч.Гардинер. Постройка разрушалась, но и на их долю нашлись интересные находки.

Только через 50 с лишним лет в этих краях побывали российские исследователи — Восточно-Новоземельская экспедиция НИИ Арктики и Антарктики из Ленинграда под руководством Б.В.Милорадовича (1933 г.), которая, собственно, была не археологической, а естественнонаучной. Затем еще довольно большой временной перерыв,

и на Новой Земле в 1977, 1979, 1981 и 1982 гг. работает самостоятельная Арктическая комплексная поисково-историческая экспедиция, которой руководил Д.Ф.Кравченко.

Старков уделяет особое внимание ее результатам, указывая на целый ряд серьезных недочетов. Это касается не только отсутствия четко изложенной методики исследований, но и разрешения на проведение раскопок, следствием чего стало значительное разрушение памятника. Несомненно, Старков, сам опытный профессионал-полярник, обязан был четко заявить об этом прежде всего из-за актуализации «черных следопытов». И хотя Кравченко не преследовал коммерческих целей и сдал свои находки в Архангельский краеведческий музей, его раскопки, по мнению Старкова, нарушили первоначальное местоположение строительных остатков и привели к тому, что реконструкция дома до сих пор является проблематичной.

Тем не менее в четвертой главе, посвященной методике воссоздания зимовочного жилища голландских моряков на основе различных источников, Старков отмечает несомненный интерес графической реконструкции дома, предложенной Кравченко. При посещении памятника в 1979 г. он был единственным, кто сумел зафиксировать постройку на уровне пола при наличии тогда основных элементов конструкции.

Так или иначе, по совокупности имеющейся информации, полученной как «в полевых условиях», так и из литературных источников, в настоящее время реконструкция дома в Ледяной Гавани выполнена наиболее полно. Наглядно продемонстрированы отличия в строительной технике, использованной в арктических условиях поморами и европейскими моряками, оказавшимися в роли вынужденных зимовщиков.

Пятая глава, самая короткая, посвящена поиску мест захоро-

нения голландских моряков, так и не увенчавшемуся успехом. Первая причина заключается в том, что природная обстановка в районе поисков со времен Баренца сильно изменилась в связи с отступанием ледников, вторая — описание мест захоронения сделано Де Фером настолько отрывочно и неполно, что не дает однозначного толкования. Исследовав в поисках истины практически все возможные варианты, Старков приводит забытое свидетельство современника событий историка И.Понтануса о том, что один из моряков «был похоронен в могиле из сверкающего как мрамор льда, точно также как мы это сделали с другими» (с.109). Если здесь идет речь о прибрежном или русловом леднике, каких на севере Новой Земли сотни, то тела погибших не могли сохраниться из-за интенсивного массообмена ледников. Очевидно, надежды найти погребения голландских моряков не остается.

Наибольший интерес в рецензируемой книге представляет описание коллекций предметов быта и других свидетельств зимовки голландцев 1596—1597 гг. в Ледяной Гавани, хранящихся в Музее Арктики и Антарктики в Санкт-Петербурге, в Архангельском областном краеведческом музее, а также в двух московских организациях — в Институте археологии РАН и Российском НИИ культурного и природного наследия Минкультуры РФ. При этом сами коллекции весьма различаются по количеству предметов. Так, в Музее Арктики и Антарктики находится всего восемь предметов, однако среди них есть такие (например, крупные фрагменты кувшинов, башмак на деревянной подошве), которые в других

коллекциях не встречаются. Весьма существенная коллекция (всего 1215 единиц хранения) была получена экспедицией Кравченко, но ее составители не пытались выделить типологические группы находок или дать описание наиболее интересных из них. Что касается коллекции из Ледяной Гавани в Российском НИИ наследия (всего 732 предмета), то она относится к массовому материалу, которым пренебрегли предшественники, нарушившие первоначальные условия его залегания *in situ*.

Наиболее значительная коллекция из Ледяной Гавани и единственная в России, относящаяся к голландской материальной культуре XVI в., находится в Институте археологии РАН. Количество представленных в ней предметов позволяет группировать их по нескольким подразделениям: массовый материал (стекло, керамика, пули, гвозди, бондарные изделия), индивидуальные находки, предметы быта и связанные с торговлей фрагменты одежды и обуви, наконец, судовое дерево.

Из индивидуальных находок особый интерес представляют детали оружия, такие как фрагмент ружейного замка, мушкетной подставки, а также наконечники шпаги и алебарды. В прошлом остатки оружия выбирались в первую очередь, поэтому находок такого рода к концу XX в. осталось немного. По этой же причине сделаны находки фрагментов навигационных инструментов, равно как и плотничьих, при полном отсутствии, например, топоров, многократно изображенных на рисунках к книге Де Фера.

К предметам быта относятся ножи, замки и ключи, книжные застежки, швейные иглы, подсвечники, а также небольшие

декоративные изделия, фигурки из олова и свинцовая пластина с автографом Баренца.

Было обнаружено также небольшое количество предметов, связанных с торговлей, например пломбы с остатками тканей, а также четыре медных голландских монеты того времени.

Одежда, обувь и кожи, встреченные фрагментарно, позволяют оценить степень защищенности голландских моряков от воздействия арктической непогоды. Поскольку фетр, сукно и шерсть для этого недостаточны, понятен интерес зимовщиков к меху разных животных, как это следует из текста Де Фера.

Фрагменты судового дерева, использованные при строительстве дома (куски палубных досок, шпангоутов, нередко с гвоздями), как правило из дуба, легко отличаются от плавника.

К несомненным достоинствам книги можно отнести большое количество иллюстраций, собранных в виде таблиц, что облегчает усвоение материала.

В целом результаты археологических изысканий на месте зимовки последней экспедиции Баренца в Ледяной Гавани не привели к коренному пересмотру хода событий, известных по книге Де Фера. Тем не менее они существенно прояснили обстоятельства и уточнили обстановку, в которой эти события происходили, и уже поэтому представляют значительный вклад в изучение деятельности западноевропейских моряков в Российской Арктике и их взаимоотношений с поморами. Несомненно, на этом фоне необходимость в изучении поморского освоения Новой Земли становится особенно острой, поскольку архипелаг с давних пор служил нашим предкам оплотом освоения Российской Арктики. ■

Астрономия

Л.М.Гиндилис. SETI: ПОИСК ВНЕЗЕМНОГО РАЗУМА. Науч. ред. В.Г.Сурдин. М.: Физматлит, 2004. 648 с.

Мысль написать книгу о поисках внеземных цивилизаций зародилась у автора давно, но различные обстоятельства не позволяли осуществить ее. Со временем необходимость в такой книге возрастала. С момента выхода книги И.С.Шкловского «Вселенная, жизнь, разум» (первое издание — 1962 г., последнее — 1987 г.) прошло немало лет. Исследования в области SETI (так стали называть проблему поиска внеземных цивилизаций) продолжали развиваться, были сделаны важные открытия в смежных областях науки. Пришло время дать новый современный срез этой проблемы. Между тем серьезных научно-популярных книг по проблеме SETI до сих пор не было издано.

В книге рассказывается о методах поиска внеземных цивилизаций, об экспериментах, связанных с сигналами; с научной точки зрения рассматриваются астрономические, биологические, философские аспекты проблемы. Для ее чтения не требуется никаких специальных знаний, и она доступна читателю со средним образованием. Вместе с тем это не легкое занимательное чтение, а попытка серьезного разговора, соразмышления с читателем.

Механика

В.М.Александров, М.И.Чебаков. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧАХ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ. М.: Физматлит, 2004. 304 с.

В книге описаны аналитические методы и результаты решения большого круга неклассических задач по механике контактных взаимодействий упругих тел. Рассмотрены статичес-

кие и динамические контактные задачи теории упругости для тел сложной конфигурации, неоднородных тел и с усложненными условиями в зоне контакта. Для их решения разработаны парные ряды-уравнения, интегральные уравнения и бесконечные системы линейных алгебраических уравнений. Получен ряд качественно новых и важных результатов, касающихся зависимости контактных напряжений, жесткости системы штамп—упругое тело, размеров области контакта и деформации свободной поверхности от параметров задач.

Практическая значимость результатов связана с возможностью использования их для расчетов контакта элементов конструкций и деталей в машиностроении, строительстве и электронной промышленности с учетом различных факторов, а также для тестирования пакетов программ, реализующих прямые численные методы.

Ботаника

М.С.Игнатов, Е.А.Игнатова. ФЛОРА МХОВ СРЕДНЕЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ. Т.2. Fontinalaceae — Amblystegiaceae. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 944 с.

Изучение мхов (равно как и сосудистых растений), обитающих в центре Европейской части России, ведется уже более 200 лет, но до сих пор не было выпущено единого определителя для этой довольно обширной группы высших растений. В руководствах, посвященных региональным бриофлорам, описания некоторых таксонов столь различны, что порой трудно решить, какому из признаков надо отдать предпочтение. В бриологии, как и в любой другой науке, постоянно что-то меняется и корректируется, причем это касается даже «классических» флор. Поэтому необходимость составления современного оп-

ределителя, учитывающего все изменения, стала очевидной.

В первом томе описаны 364 вида и пять разновидностей мхов, произрастающих в европейской части России. Первоначально планировалось издать один том (или два одновременно), однако по независящим от авторов причинам в 2003 г. была опубликована только первая часть. Вторая выходит год спустя.

Во втором томе дано описание 174 видов и восьми разновидностей бокоплодных мхов, произрастающих в европейской России (за исключением районов Севера и Карелии, а также Кавказского региона, но включая Урал). Указаны строение, распространение и экология каждого вида мха. Книга снабжена оригинальными рисунками и электронно-микроскопическими фотографиями. В систематике видов учтены данные последних морфологических и молекулярно-генетических исследований.

Геохимия

Е.И.Александровская, А.Л.Александровский. ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ АНТРОПОХИМИЯ. М.: НИИ-природа, 2003. 203 с.

С первых шагов становления цивилизации люди испытывали воздействие не только природных материалов, но и создаваемых на их основе соединений. Их деятельность привела к значительным изменениям среды обитания и химизации всего человеческого организма.

В книге впервые сделана попытка представить новое научное направление — антропохимию. Исследователи начали свою работу с широкого круга материалов, постепенно накапливающихся в различных областях знаний — археологии и географии, антропологии и геохимии. Используя данные соб-

ственных полевых исследований авторы приходят к выводу о необходимости комплексного решения экологических проблем. Они предлагают изучать развитие человека и антропосреды в пространстве и времени. Издание несомненно даст толчок к расширению экспериментальной базы и накоплению информации в новой науке о роли химизации среды в жизни человека и цивилизации в целом.

Геология

ОКЕАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛИ — АЛЬТЕРНАТИВА НЕОМОБИЛИЗМА: Сб. науч. тр. Отв. ред. В.В.Орленок. Калининград: Изд-во КГУ, 2004. 268 с.

В науках о Земле существуют две противоборствующие концепции относительно природы эндогенных процессов, формировавших тектонические структуры на континентах и на дне океанов. Первая рассматривает глубоководные океаны как опустившиеся части континентов. Вторая объясняет образование океанов расколами и раздвижением континентов. В измененном и усовершенствованном виде эти две концепции называют «фиксизм» и «мобилизм». Мобилистская концепция именуется тектоникой плит и пользуется более широким признанием. Некоторые приверженцы называют ее теорией и рассматривают как научную революцию в геологии и геофизике.

Публикация сборника трудов, посвященного альтернативе неомобилизма — океанизации Земли, и написанного ведущими специалистами Калининградского государственного университета, преследует несколько целей. Во-первых — научное обоснование несостоятельности исходных положений плейтотектонической гипотезы. Во-вторых — представление обширных геологических материалов, указывающих на

отсутствие принципиальных различий в структуре коры континентов и океанов, что находится в полном соответствии с историческими особенностями ее формирования и эволюции, начиная с раннего докембрия. В-третьих — обоснование новой геологической концепции, в рамках которой намечены два основных этапа эволюции Земли (доокеанический и этап океанизации). Последний наиболее активно проявился за последние 65—70 млн лет. И наконец — раскрытие сущности процесса океанизации, которому предшествовало формирование мощной астеносферы, инициировавшей в конце мезозоя вспышку глобального вулканизма с последующим опусканием континентальной коры. В результате потоки эндогенной воды заполнили формировавшиеся впадины океанов, создав к концу плиоцена современную картину распределения суши и моря на поверхности Земли.

История науки

ИСТОРИКО-АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Вып. XXIX. Отв. ред. Г.М.Идлис. М.: Наука, 2004. 351 с.

Новый выпуск ежегодника «Историко-астрономические исследования» продолжает многолетнюю традицию. Он содержит статьи по истории отечественной и мировой астрономии, подготовленные сотрудниками Института истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН.

Сборник включает пять разделов: «Астрономия, космология и космогония XX в.», «Исследования и находки», «Космология: философские проблемы», «Астрономия и общество», «Публикации и воспоминания». Большинство статей посвящено различным проблемам истории астрономии и космологии XX в., хотя есть работы, относя-

щиеся к более раннему периоду. Особое место в сборнике занимает история российской астрономии: обсерватории и астрономические организации, инструменты и наблюдения, судьбы отечественных астрономов и их работ.

Сборник открывается фундаментальной статьей И.И.Паши, посвященной истории развития волновых теорий спиральной структуры галактик в 1960-е годы.

История науки

РОССИЙСКАЯ НАУКА: НАМ ГРАНТЫ ДУМАТЬ И ЖИТЬ ПОМОГАЮТ. Под ред. акад. В.П.Скулачева; Отв. ред. А.В.Бялко. М.: Октопус; «Природа». 2004, 312 с.

В сборнике публикуются победители ежегодного конкурса научно-популярных статей, организованного Российским фондом фундаментальных исследований. Представлены практически все разделы естественных наук: механика, физика, астрономия, химия, биология, науки о Земле и науки об обществе, информатика.

К сожалению, на этот раз резко уменьшилось как число представленных на конкурс статей, так и количество лауреатов. Из объявленных 42 вакансий в 2003 г. присуждено только 28 премий. Трудно сказать, чем вызван такой спад. Возможно, причина в одновременности сроков подачи заявок на конкурсы грантов и научно-популярных статей. Но строгость отбора лауреатов сохраняется из года в год, и содержательность статей-победителей достойна уровня российской науки.

Кроме того, более трети статей были опубликованы в «Природе» до конкурса. Редакцией журнала в сотрудничестве с разными издательствами готовились к печати и все предыдущие сборники, которых выпущено уже шесть.

Тематический указатель журнала «Природа» за 2004 год

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Антинобелевские премии 2003 года**	4	31
Астероид стоит награды**	12	39
Афганские древности — трудный путь к спасению**	5	39
Борьба науки с невежеством*	9	84
ВИКТОР ПРОКОПЬЕВИЧ СОЛОНЕНКО		
В СЕЙСМОГЕОЛОГИИ	3	72
Учитель и его школа. Вспоминая В.П.Солоненко.		
Ружич В.В.	3	73
Встречи с И.Р.Пригожиным. Блох А.М.	2	69
Главная геофизическая обсерватория: вехи становления метеорологии в России.		
Кароль И.Л., Шнееров Б.Е.	3	27
ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР		
К 100-летию Юлия Борисовича Харитона	6	57
Подвиг Юлия Борисовича Харитона.		
Чернышев А.К.	6	58
Небольшой экскурс в родословную.		
Семенова А.А., Семенов А.Ю.	6	67
Уран-45. Дровеников И.С., Романов С.В.	6	74
Женщин-академиков стало больше**	4	32
Жил-был профессор		
К 100-летию со дня рождения Т.С.Расса		
Расс Ирина Т., Расс Ирма Т.	11	59
«За СССР выявляется лик исстрадавшейся России» (Письма В.И.Вернадского детям)	1	64
История океанографии на берегу реки Преголи.		
Зубрева М.Ю.	1	49
Климат и погода системы Солнце—Земля**	12	40
Когда Заволочье стало Русским Севером.		
Павлович Н.А.	10	50

Знаком * отмечены материалы, опубликованные в разделе «Новости науки».

Знаком ** отмечены материалы, опубликованные в разделе «Калейдоскоп».

Конкурс популярных статей РФФИ. Бялко А.В.	2	3
Конкурс русских инноваций*	10	83
КОНРАД ЛОРЕНЦ — ОСНОВАТЕЛЬ ЭТОЛОГИИ		
К 100-летию со дня рождения	3	59
«Гусиный отец». Гороховская Е.А.	3	60
Что такое сравнительная этология? Лоренц К.	3	67
ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2003 ГОДА		
По физике — А.А.Абрикосов, В.Л.Гинзбург, Э.Дж.Легgett. Фомин И.А.	1	3
По физиологии и медицине — П.Лаутербур и П.Мэнсфилд. Владимиров Ю.А., Осипов А.Н.	1	6
По химии — Р.Мак-Киннон и П.Эгр. Белянова Л.П.	1	9
ЛИДЕР ЭВОЛЮЦИОННОЙ БИОЛОГИИ		
К 100-летию Эрнста Майра	9	69
Творческое долголетие в науке.		
Колчинский Э.И., Конашев М.Б.	9	71
Корни диалектического материализма ¹ . Майр Э.	9	73
Э.Майр—Н.Н.Воронцов ²	9	76
ЛУЧ СВЕТА В ЦАРСТВЕ ЧАСТИЦ		
К 100-летию со дня рождения П.А.Черенкова	7	3
Заметки к семейной хронике. Черенкова Е.П.	7	4
Вспоминая Павла Алексеевича Черенкова.		
Говорков Б.Б.	7	10
Черенковское излучение в электродинамических структурах. Лебедев А.Н.	7	14
Детекторы черенковского излучения.		
Денисов С.П.	7	22
Физики и лирики. Болотовский Б.М.	7	31
МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАГРАДЫ — РОССИЙСКИМ УЧЕНЫМ		
Медаль Дирака — В.Е.Захарову	1	16
Премия Грубера — Р.А.Сюняеву	1	16
Призы за подводные исследования	1	17

¹ Перевод О.И.Шутовой.

² Перевод Е.А.Ляпуновой.

Международные работы в Антарктиде*	10	85	Венера на фоне солнечного диска**	5	38
Международный гелиофизический год*.			Взглянуть на астероид по-новому*	11	74
Силкин Б.И.	4	84	«Возможно обитаемая зона в Галактике»*	12	72
НАУЧНАЯ ШКОЛА Л.А.ЗИЛЬБЕРА И ЕЕ ИСТОКИ	4	57	«Вояджер-1» уже за границей Солнечной системы?*	4	79
«Возьмите карандаш и записывайте...»			Все меньше рождается звезд*	4	80
Абелев Г.И.	4	58	«Галилео» свое отработал*	4	79
Параллели в жизни и в науке.			Гамма-всплеск: джет внутри джета*	6	82
Киселев Л.Л., Левина Е.С.	4	62	Где же темная материя?*	4	80
Неправильственные научные премии*	3	78	Далекie сверхновые и «темная энергия»*	9	81
ОДИН ИЗ ТРОИЦЫ, ПРОЗВАННОЙ «ДЖАЗ-БАНД»			Звезда, пожирающая свои планеты	7	80
К 100-летию Дмитрия Дмитриевича Иваненко	8	61	Звездные сверхскопления и сверхассоциации.		
На заре ядерной физики. Герштейн С.С.	8	62	Ефремов Ю.Н.	6	23
Д.Д.Иваненко — вне науки и политики			Индия займется изучением Луны**	8	74
(По рассказам Р.А.Куликовой-Иваненко ¹)	8	69	К Луне — с новым «мотором»*	7	81
Основан институт по изучению Тибета*	8	84	К Марсу полетит «Феникс»*	8	79
От рентгеновских лучей к элементарным частицам			К Юпитеру — на атомной энергии**	11	21
(К 100-летию Абрама Исааковича Алиханова).			Кипящая планета*	12	72
Абов Ю.Г.	12	62	Комета Галлея снова видна*. Сурдин В.Г.	2	78
Очередное начало морской археологии.			Космическая программа Японии**	9	43
Лукошков А.В.	6	40	Космическая эскадра пополняется**	11	21
Очередной шаг к исследованию древнего льда			Космические лучи — проблема международная*	5	82
Антарктиды*. Талалай П.Г.	8	84	Космический телескоп им.Джеймса Уэбба*	5	82
Первый абелевский лауреат*	2	80	Космический телескоп «Спитцер»*	3	80
Перспективы программы океанского бурения**	5	40	Космическое зеркало из бериллия**	9	43
Под парусами «Крузенштерна».			Массивные звезды рождаются в уединении*.		
Городницкий А.М.	1	56	Сурдин В.Г.	4	81
Последствия атомной бомбардировки:			«Металлургия» во Вселенной*	9	81
изучение свертывается?*	12	40	Метеорологи выручают астрономов*	8	80
Российские ученые: первые среди равных*	4	79	Над Марсом — воздушные шары**	9	43
СИМВОЛ ВОЗРОЖДЕНИЯ ПОРУГАННОЙ			Новый подход к классификации галактик*	12	73
ГЕНЕТИКИ			Новый радиотелескоп на Гавайях*	8	80
К 100-летию со дня рождения			Облако Оорта стало видимым*	10	82
Бориса Львовича Астаурова	10	65	Обломок астероида для Японии**	2	31
Автобиография	10	66	Обсерватория встает из пепла**	11	22
Рождение института. Астауров Б.Л.	10	69	Они выжили в космической катастрофе**	6	39
Мудрость и такт. Корочкин Л.И.	10	76	Определение массы коричневого карлика*	11	73
Создается Иракская академия наук*	9	84	Памятник в космосе**	2	31
Судьба научных журналов**	4	32	Планы корректируются**	8	60
Судьба российских полярных станций на фоне			Послание из бездны: черная дыра		
глобального потепления. Романенко Ф.А.,			в центре Галактики*. Сурдин В.Г.	6	81
Шиловцева О.А.	9	44	Продлена миссия «Улисса»*	7	81
Судьба равномерных знаков			Происхождение двойных звезд. Сурдин В.Г.	3	12
Балтийско-Ладожского региона. Богданов В.И.	7	55	Пути к астероидам**	11	21
Требуются новые глубоководные аппараты**	8	60	Путь к астероидам*	5	81
ЭПИЗОДЫ РОЖДЕНИЯ «СЛОЙКИ»	12	51	Ритмика магнитных процессов на Солнце*	11	73
Годы шторма и натиска. Ритус В.И.	12	51	Рождение протопланеты*	12	71
История одного задания. Ритус В.И.	12	57	Розы в южном небе. Вибе Д.З.	7	79
			Самая сплюснутая звезда*. Сурдин В.Г.	1	82
АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА.			Самоубийство космического аппарата**	4	46
КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ			Сверхновые типа Ia взрываются несимметрично*	2	77
Антиматерия: обнаружить и изучить*	10	81	Славный конец «Галилео»*	8	79
Астероид вернулся!*	4	81	Следить за «погодой» на Солнце**	11	20
Астероид стоит награды**	12	39	Создан новый каталог скоплений галактик*	11	75
Астрономы просят «загемнить» небо**	4	31	Солнечные нейтрино: новые результаты.		
Безголовая комета**	3	71	Копылов А.В.	2	5
Ближайший космический мираж*	2	77	Солнце вредит спутникам**	11	20
Будущее космического телескопа «Хаббл»*	7	82	Солнце и гелиосфера в период		
В поисках гравитационных волн*	5	81	максимума активности*	12	71
			Солнце разорвало комете хвост*	1	83
			Стихийные бедствия: взгляд из космоса**	11	21

¹ Записала Н.В.Успенская.

Структура активного ядра галактики NGC 1068*.		Обращение намагниченности в природе.			
Сурдин В.Г.	5	80	Васильев А.Н., Трухин В.И.	4	17
Студенты создают малые спутники*	8	79	Органические дисплеи — это перспективно*	12	75
Тайконавты готовятся к стартам**	12	39	От рентгеновских лучей к элементарным частицам (К 100-летию Абрама Исааковича Алиханова).		
УФ-излучение в межзвездной среде*	1	83	Абов Ю.Г.	12	62
Франция отворачивается от США и от Марса**	4	31	Послание из бездны: черная дыра		
Что происходит в миллиардах световых лет от нас?*	10	80	в центре Галактики*. Сурдин В.Г.	6	81
Что расскажет комета Вилда-2?*	9	81	Проект NGRIP завершен, продолжение следует.		
Что случилось с Солнцем?*	10	80	Талалай П.Г.	3	33
Эпоха космического ренессанса*.			Резонансное туннелирование фотонов		
Сурдин В.Г.	3	79	и бесконтактное трение*	5	83
ПЛАНЕТОЛОГИЯ. МЕТЕОРИТИКА. ФИЗИКА И ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ. КОСМОХИМИЯ			Сверхминиатюрная вакуумная камера*	9	83
«Cassini» завершил изучение Юпитера*	1	84	Топ-кварк стал тяжелее*	12	74
Атмосферный метан и глобальный климат.			Трагедия Хиросимы: новые исследования*	2	80
Кароль И.Л., Киселев А.А.	7	47	Урон науке от «затемнения»**	3	71
На Нептун пришло лето*	7	82	Утилизация ядерных отходов с помощью лазера?*	6	85
Подвижная тропопауза*	6	84	Фонтан пресной воды на морском дне*	11	79
Подземные воды Марса*	2	79	Электролюминесценция на углеродных нанотрубках*	1	85
Представления о Марсе уточняются*	9	82	Электронная голография кристаллов*	10	84
Провальные дожди на Марсе?*	12	73	Эти немагнитные диамагнитные домены.		
Растительность влияет на атмосферные примеси*	4	82	Егоров В.С.	9	17
Странные магнитные поля Урана и Нептуна*.			Ядерный реактор — живое существо?		
Сурдин В.Г.	11	75	Орлов В.Н.	4	29
Тепловая индукция марсианской поверхности*	3	80	Яркие электронные эмиттеры на углеродных нанотрубках*	7	83
У Марса ядро жидкое?*	10	82	ХИМИЯ		
Уникальный Титан*	6	83	Восстановить мгновение. Леменовский Д.А.,		
Фуллерены в метеоритных телах*	8	81	Гарбар Н.М., Брусова Г.П., Локшин Б.В.	6	8
МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА			Квантовый хаос в химии. Еремин В.В.	2	20
О кристаллах, полиэдрах, радиоляриях, вольфрамах, фуллеренах и немного — о природе вещей.			Лекарство-снайпер, или Химический прицел для нейтрона. Брегадзе В.И., Сиваев И.Б.	4	3
Войтеховский Ю.Л.	8	19	Менять ли стеклянные очки на пластиковые?*		
От интеллекта индивидуума к интеллекту человечества. Еремин А.Л.	4	23	Исаков Д.В.	7	83
Первый абелевский лауреат*	2	80	Молекулярные губки из нанотрубок*	9	83
Пять великих распределений вероятностей.			БИОЛОГИЯ		
Трубников Б.А., Трубникова О.Б.	11	13	Биосфера и ноосфера глазами биолога.		
ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА			Скворцов А.К.	1	18
Антиматерия: обнаружить и изучить*	10	81	Вирус меняет поведение осы*	8	83
В нанотрубках имоголита хранят природный газ*	8	82	Возникновение четвероногих: новый взгляд*	6	85
Замечательные качества углеродных нанотрубок.			Глобальные процессы и эволюция беличьих*	1	86
Золотухин И.В., Калинин Ю.Е.	5	20	Динго — потомки дворняг*	5	84
К Луне — с новым «мотором»*	7	81	Земляные белки. Шилова С.А.	3	41
Квантовая механика плененных фотонов.			Змею спасает хвост*. Семенов Д.В.	9	83
Оптические микрорезонаторы, волноводы, фотонные кристаллы. Звездин А.К.	10	12	История одинокой хромосомы.		
Космический телескоп им.Джеймса Уэбба*	5	82	Попадьян К.Ю., Мамирова Л.А.	9	11
Космический телескоп «Спитцер»*	3	80	Кооперация бактерий и возникновение многоклеточности*. Гиляров А.М.	1	85
Магнитнорезистивная память с произвольной выборкой*	12	75	Крупные хищники вымирают быстрее*	5	84
Молекулярные запоминающие устройства*	8	82	Кулик-бабочка. Булавинцев В.И.	4	47
Нанотехнологическая революция стартовала!			«Культурные» традиции орангутанов*	2	80
Головин Ю.И.	1	25	Лягушки адаптировались к кислотному загрязнению среды*. Семенов Д.В.	6	86
Не понравилось — сотри*	5	83	Млекопитающие: эмбрион в личинке.		
О поверхностной электропроводности.			Сахарова Н.Ю.	5	28
Семиков С.А.	12	19	Мозг человека развился благодаря редукции жевательных мышц?*. Петров П.Н.	12	76
			Морские слизни. Токранов А.М., Орлов А.М.	2	39

Необычное лакомство американской иволги*.			Происхождение специфических иммуноглобулинов.		
Опаев А.С.	6	87	Галактионов В.Г.	7	40
Новый взгляд на происхождение билатерий.			«Холодная» амплификация ДНК*	11	77
Малахов В.В.	6	31	Электрические батареи из бактерий**	5	39
Омоложение начинается с макаков*	6	86			
Отчего гибнут «бесчешуйные ящеры»?			ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ.		
Орлов А.М., Ульченко В.А.	8	47	МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ.		
Песенный дуэт кустарникового крапивника*.			ЭКОНОМИКА. ЛИНГВИСТИКА		
Опаев А.С.	11	77	Жить в гармонии со своими генами.		
Почва, микробы и азот в биосфере.			Баранов В.С., Баранова Е.В.	12	3
Добровольский Г.В., Умаров М.М.	6	15	«И вечный бой...»*	10	88
Принцип троянского коня, или Как протозойный патоген проникает в живую клетку.			Когда разошлись индоевропейские языки?*	10	88
Бейер Т.В., Свежова Н.В.	5	13	Лекарство-снайпер, или Химический прицел для нейтрона. Брегадзе В.И., Сиваев И.Б.	4	3
Росомаха — неутомимый охотник.			Мелатонин — без чудес. Ковальзон В.М.	2	12
Кречмар А.В.	4	11	Менять ли стеклянные очки на пластиковые?*		
Синица синице рознь. Булавицев В.И.	2	44	Исаков Д.В.	7	83
Страна Мифландия. Размножение мифозоев.			Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов российского шельфа. Дмитриевский А.Н., Белонин М.Д.	9	3
Иванова-Казас О.М.	4	49	Сражение вокруг ольмекских иероглифов*	8	86
Супермодель нейроспора. Филиппович С.Ю., Бачурина Г.П., Крицкий М.С.	3	49	«Холодная» амплификация ДНК*	11	77
Трудная жизнь пернатых многоженцев.					
Паевский В.А.	7	69	ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ.		
	8	32	ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ		
Хитрые самки пятнистой гиены*. Опаев А.С.	5	85	Аист на крыше... Булавицев В.И.	5	52
Что определяет максимальную высоту дерева*.			Борьба с разливами нефти*	8	84
Липина Т.В.	11	76	Вертишейка. Булавицев В.И.	3	39
Что такое «копулексус»?* Семенов Д.В.	5	85	Вирус против жаб*. Семенов Д.В.	7	85
Этот удивительно организованный мир.			Дуб-кочевник. Смирнова О.В., Бобровский М.В.	12	26
Добровольский Г.В., Трофимов С.Я.	3	3	Жизнь в озерах поддерживают наземные экосистемы*. Гиляров А.М.	7	84
			Земноводные и пресмыкающиеся в зоомагазинах*	1	87
БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ			Игрушки в океане**	2	31
Зачем казуару гребень?*	10	85	«Изысканный бродит жираф...» Климов В.В.	9	54
Калаанский погоныш — птица с Филиппин*	12	77	Каланы снова в опасности*	9	84
Морской еж-долгожитель**	12	40	Канадская Арктика в опасности*	3	86
Новое семейство водных жуков*.			Коралловые рифы: утраченный рай?		
Петров П.Н.	8	83	Островский А.Н.	11	39
Новый вид сыча*	4	82	Куда девать парниковый газ?*	3	81
Пещера Ласко в опасности*	7	89	Малонарушенные лесные территории России*	2	81
Сенсация в мире кактусов*.			Молекулярные губки из нанотрубок*	9	83
Семенов Д.В.	4	82	Неравное соотношение полов в выводках чайки Одуэна. Опаев А.С.*	12	78
Стерилизация поможет?*	1	86	Нерв под воздействием частиц высокой энергии*	12	78
Тигры на Хехцире. Ткаченко К.Н.	1	37	Отменный рыболов и красавец зимородок.		
			Булавицев В.И.	6	54
ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОТЕХНОЛОГИЯ			Парадоксальное увеличение генетического разнообразия ящериц-вселенцев. Гиляров А.М.*	12	76
Генетическое разнообразие народов.			Певчие птицы с повадками хищника.		
Боринская С.А.	10	33	Орден К.ван, Паклина Н.В.	11	45
Жить в гармонии со своими генами.			Перепись бенгальского тигра*	7	84
Баранов В.С., Баранова Е.В.	12	3	Победит золото или история?*	4	87
Избыточная ДНК — генетическая квадратура круга?			Рекреационная нагрузка на природу Кабардино-Балкарии. Калов Р.О.	4	38
Акифьев А.П.	10	3	Рост численности бычка-бланкета в Черном море.		
Когда и откуда пришли первоавстралийцы?*	12	77	Чесалин М.В., Игнатьев С.М., Царин С.А.	2	62
Красный пот гиппопотамов*	10	85	Сибирский шелкопряд и судьба пихтовой тайги.		
Парадоксальное увеличение генетического разнообразия ящериц-вселенцев.			Гродницкий Д.Л.	11	49
Гиляров А.М.*	12	76	Спасти антилопу чиру*	1	87
Повреждение и починка ДНК, или «На каждую прореху найдется заплатка».					
Шарова Н.П., Абрамова Е.Б.	11	3			

Стерилизация поможет?*	1	86	ГЕОХИМИЯ. ГЕОФИЗИКА		
Судьба большой белой акулы**	8	74	Вулканы предстают в новом свете*	2	82
ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА. ПЕТРОЛОГИЯ			Глубинные причины образования осадочных бассейнов. Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.	10	23
200-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». Басов И.А.	12	24	Звуки со дна океана*	1	87
Автогенерационные рудообразующие системы. Константинов М.М.	2	27	Международный гелиофизический год*.		
Биоминеральные микроструктуры оксидных марганцевых агрегатов. Лысюк Г.Н.	2	65	Силкин Б.И.	4	84
Большое серебро Якутии Константинов М.М.	6	49	Нитраты под пустынями*	5	86
В погоне за «желтым дьяволом». Фашук Д.Я.	10	39	Новая гравиметрическая карта Земли*	6	85
Возвращение блудного сына (Минералогическая сказка). Дорфман М.Д.	4	36	Полярные сияния: взгляд изнутри*	7	83
Восточное побережье Приморья — провинция расслоенных гранитов. Валуй Г.А.	11	31	Преобразование вендских толщ и проблема чистых образцов. Бурзин М.Б., Виноградов В.И.	12	10
Гигантские кристаллы рудника Найка*	3	83	Природа нестабильностей вращения Земли.		
Двигается ли гавайская горячая точка? (197-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»). Басов И.А.	4	55	Сидоренков Н.С.	8	8
Землетрясения в Горном Алтае и сейсмогеология Большого Алтая. Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Гибшер А.С.	3	19	Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов. Добровольский В.В.	7	35
Международные работы в Антарктиде*	10	85	Скорость распространения крупных сдвигов*	3	82
Минералы в костях динозавров из урочища Калбак-Кыры. Кудрявцева А.И., Черезова О.С.	1	47	Спор вокруг плюмов. Родников А.Г., Силкин Б.И.	9	40
Мониторинг геохимических процессов в аккреционной призме (196-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»). Басов И.А.	2	64	Фуллерены в метеоритных телах*	8	81
Нефть Мезенского бассейна: иллюзия или надежда? Аплонов С.В., Лебедев Б.А., Тимошенкова Н.В.	2	50	СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ		
О кристаллах, полиэдрах, радиоляриях, вольфоксах, фуллеренах и немного — о природе вещей. Войтеховский Ю.Л.	8	19	Вулканы инициируют Эль-Ниньо?*	2	83
Палеогеновая эволюция осадконакопления в экваториальной Пацифике (199-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»). Басов И.А.	11	57	Гляциогенные землетрясения*	7	86
Первая попытка зондирования вулканического облака. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.	4	42	Грандиозное землетрясение 2002 года*	11	80
Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов российского шельфа. Дмитриевский А.Н., Белонин М.Д.	9	3	Землетрясение в Калининграде — неожиданность?*	11	81
Победит золото или история?*	4	87	Никонов А.А.*		
Поднятие Шатского: эхо важнейших событий мела и палеогена (198-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»). Басов И.А.	7	53	Землетрясения в Горном Алтае и сейсмогеология Большого Алтая. Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Гибшер А.С.	3	19
Поля-террасы в Центральном Непале. Уфимцев Г.Ф.	12	47	Кипящие фонтаны среди льдов*	2	82
Преобразование вендских толщ и проблема чистых образцов. Бурзин М.Б., Виноградов В.И.	12	10	Марианские острова в тревоге*	6	87
Проблемы геологического возраста*	5	86	Новости о последнем дне Помпеи*	4	86
Разгадка, возможно, близка (О причинах великих вымираний и обновлений органического мира). Хаин В.Е.	6	3	Паго взят под надзор*	7	86
Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае и сейсмический потенциал региона. Никонов А.А.	5	41	«Парные» землетрясения часты и информативны*	12	78
Спор вокруг плюмов. Родников А.Г., Силкин Б.И.	9	40	Первая попытка зондирования вулканического облака. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.	4	42
Флегрейские поля. Уфимцев Г.Ф.	5	48	Питон-де-ла-Фурнез пробудился*	5	87
Хан Уран (Минералогическая сказка). Расцветаева Р.К.	4	33	Сейсмические мотивы в «Калевале» и реальные землетрясения в Карелии. Никонов А.А.	8	25
Чарующий чароит. Белов С.В., Фролов А.А.	9	36	Сейсмические последствия террористической атаки*.		
Южно-Китайское море — молодой океанический бассейн*	11	78	Силкин Б.И.	3	82
			Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае и сейсмический потенциал региона. Никонов А.А.	5	41
			Статистика жертв*	12	79
			ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ		
			Бэровские бугры — загадка Северного Прикаспия. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С.	2	32
			Водные запасы на Земле к середине XXI века*	11	79
			Вулканы инициируют Эль-Ниньо?*	2	83
			Геоботаническая карта Арктики*	10	87
			Главная геофизическая обсерватория: вехи становления метеорологии в России.		
			Кароль И.Л., Шнееров Б.Е.	3	27
			Гляциогенные землетрясения*	7	86
			Год торнадо**	3	71
			Горные озера таят угрозу*	4	83
			Динамика гор**	5	39

Динамика климата крупных городов*	4	85	ОКЕАНОЛОГИЯ		
Динамика таяния льда в арктических морях*	7	87	Воды Роны текут до Барселоны*	8	85
Донная жизнь на картах Мирового океана.			Волны жизни океанского планктона*	11	78
Лукьянова Т.С.	12	31	Донная жизнь на картах Мирового океана.		
Из Китая песок унесло в Альпы**	2	31	Лукьянова Т.С.	12	31
Изменения климата влияют на ресурсы			Испарение вод усиливается*	9	84
российских рек*	9	86	Ключ к прогнозу — ветер над морем*	12	79
Изменения климата на северо-западе			На пороге Средиземноморья.		
Японского моря*	11	82	Мурдмаа И.О., Келлер Н.Б.	5	58
Изменчивость атмосферы над Южной полярной			Перемены в водах океана: колебания		
областью*	2	84	или тенденция?*	9	85
Изотопный состав кислорода и тропические осадки*	9	86	Перспективы программы океанского бурения**	5	40
История океанографии на берегу реки Преголи.			Под парусами «Крузенштерна». Городницкий А.М.	1	56
Зубрева М.Ю.	1	49	Роль тропиков в окончании ледниковой эпохи*	6	87
Как противостоять наводнениям?*	11	22	Судьба уровневных знаков		
Как пульсируют ледники*	9	87	Балтийско-Ладожского региона. Богданов В.И.	7	55
Кигиляхи Якутии. Мурзин Ю.А.	5	54	Требуются новые глубоководные аппараты**	8	60
Кисло-сладкие озера у Полярного круга.			Фонтан пресной воды на морском дне*	11	79
Шапоренко С.И.	11	23	Эволюция подводных каньонов Австралии*	2	81
Китайская пыль во Французских Альпах*	4	84	ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ.		
Климат Арктического побережья и			ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ		
Центральной Сибири*	3	85	Американские мастодонты-«дуэлянты»*	6	88
Климат и погода системы Солнце—Земля**	12	40	Арктика и Антарктика теплели несинхронно*	11	84
Климат Прибалтики за последнюю тысячу лет*	1	88	Бабочка в янтаре*. Петров П.Н.	11	84
Климат Украины в XX веке*	3	84	Баиноцератопс Ефремова — рогатый динозавр		
Климатические экстремумы в Европе*	2	84	Монголии*. Алифанов В.Р., Терещенко В.С.	2	85
Ключ к прогнозу — ветер над морем*	12	79	В поисках истоков Нила**	8	74
Когда Заволочье стало Русским Севером.			Гастролиты ископаемых. Очев В.Г., Иванов А.В.,		
Павлович Н.А.	10	50	Архангельский М.С.	10	46
Космический дождемер*	4	85	Древнейшие люди Старого Света*. Лаухин С.А.	3	85
Ледники Антарктиды отступают*	4	83	Еще один <i>Homo erectus</i> *	6	89
Мельничные плотины на реке моего детства.			Из одного гнезда*	5	88
Рыжиков А.И.	3	55	Ископаемые эмбрионы: в поисках родителей*.		
Метеорологи выручают астрономов*	8	80	Петров П.Н.	10	87
Молнии над городами**	3	71	Климат Земли за 740 тысяч лет*. Гиляров А.М.*	11	83
Морской планктон — над Великими равнинами*	10	87	Мозг человека развился благодаря		
Новый метод изучения плавающих льдов Антарктики*	12	79	редукции жевательных мышц? Петров П.Н.*	12	76
Очередной шаг к исследованию древнего			Неандертальцы нам не предки*	10	88
льда Антарктиды*. Талалай П.Г.	8	84	Нелепый закон —		
Показатели холодного времени года в Москве*	10	86	угроза палеонтологической древности**	2	26
Последствия урагана «Изабелла»**	4	32	Немореходные динозавры*	7	88
Потепление в высоких широтах*	7	88	Очень древняя находка «современного» европейца*	7	88
Причина в океане, а не в атмосфере*	9	87	Преуспевающий реликт. Наугольных С.В.	9	26
Причины засухи в Северной Африке*	8	85	Роль океанов в динамике оледенений*	4	86
Прогноз Ла-Нинья не оправдался*	3	84	Среди рифов и мифов. Журавлев А.Ю.	7	62
Проект NGRIP завершен, продолжение следует.			Уроки из древности. Бурзин М.Б.	8	3
Талалай П.Г.	3	33	Четырехкрылый динозавр и происхождение птиц.		
Рекреационная нагрузка на природу			Курочкин Е.Н.	5	3
Кабардино-Балкарии. Калов Р.О.	4	38	Южноафриканские гоминиды сильно постарели*	2	85
Скальные обвалы в Горном Крыму. Никонов А.А.	1	42	АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ.		
Современный климат Северной и Центральной Азии*	5	87	ЭТНОГРАФИЯ		
Судьба российских полярных станций на фоне			Альтамира — «королева расписных пещер»		
глобального потепления. Романенко Ф.А.,			(К 125-летию открытия пещерного искусства).		
Шиловцева О.А.	9	44	Дэвлет Е.Г.	12	41
Температура воздуха и почв в районах			Английское искусство каменного века**	5	40
вечной мерзлоты*	4	85	Афганские древности — трудный путь к спасению**	5	39
Цирк ледника Колка: год спустя после катастрофы.			Варкская маска спасена**	8	74
Рототаева О.В., Носенко Г.А.	8	41	Где располагались древние верфи?*	11	22
Эль-Нинья и засухи в Азии*	2	84			
Южноамериканские ледники тают*	12	79			

«И вечный бой...»*	10	88
К письменности — черепашьим шагом*	6	89
Мумии найдены в Гималаях**	12	39
Неизвестная культура бронзового века*	12	80
Новая Гвинея: еще одна родина сельского хозяйства*	8	86
Новости о последнем дне Помпеи*	4	86
Очередное начало морской археологии.		
Лукошков А.В.	6	40
Пещера Ласко в опасности*	7	89
Победит золото или история?*	4	87
Рисунки австралийцев-аборигенов**	5	39
Сражение вокруг ольмекских иероглифов*	8	86
Шумерская школа счетного искусства*	2	86
Экологические привычки жителей Хазарского Каганата. Плетнева С.А.	9	64

АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ

Возвращение блудного сына (Минералогическая сказка). Дорфман М.Д.	4	36
Мат солнечным зайчиком. Струнников В.А.	4	75
Мухи-зажигалки	4	73
Страна Мифляндия. Размножение мифозоев. Иванова-Казас О.М.	4	49
Хан Уран (Минералогическая сказка). Расцветаева Р.К.	4	33
Ядерный реактор — живое существо? Орлов В.Н.	4	29

АРХИВНЫЕ SMS-КИ

Академик Марр опять прав?	2	76
Архиерей, летающий под небесами	9	42
«Не вижу в нем надобности для СССР...»	7	78
Одесские изгнанники	11	56
«Отрывать же головы... решительно не имели времени»	5	66
Признание доктора Мандта	1	81
«Счет по линии науки»	4	72
Хорошо ли в России измерять кристаллы?	3	77

БИОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОГО

ВИКТОР ПРОКОПЬЕВИЧ СОЛОНЕНКО В СЕЙСМОГЕОЛОГИИ	3	72
Учитель и его школа. Вспоминая В.П.Солоненко. Ружич В.В.	3	73
Встречи с И.Р.Пригожиным. Блох А.М.	2	69
Ожидаю новых результатов (Беседа с академиком В.А.Струнниковым ¹)	8	50
Русский путь Терье Скугланда. Баскин Л.М.	10	57

В КОНЦЕ НОМЕРА

Неизвестный исследователь Арктики. Волков В.А.	3	94
Неудача и успех (О запуске первого советского лунохода). Кузнецов В.Е.	6	94
Токарные художества Петра Великого. Борисов В.П.	7	93

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

Бэровские бугры — загадка Северного Прикаспия. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С.	2	32
--	---	----

¹ Интервью Л.П.Беляновой.

«Изысканный бродит жираф...» Климов В.В.	9	54
На пороге Средиземноморья. Мурдма И.О., Келлер Н.Б.	5	58
Очередное начало морской археологии. Лукошков А.В.	6	40
Цирк ледника Колка: год спустя после катастрофы. Рототаева О.В., Носенко Г.А.	8	41

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

Леонардо да Винчи, кто он? Михайлов Г.К.	9	92
«Натуралистом я был рожден». Пантеева Н.М., Макаров Н.П.	8	92
Она признавала верховенство растений над всем живым в природе. Василенко Ж.Г.	2	93
Охота на китов в Антарктике. Игнатев С.М.	1	93
Первый российский электронографист (К 100-летию со дня рождения З.Г.Пинскера). Вергасов В.Л., Клечковская В.В.	5	93
Тайна исчезновения «Русалки». Чикин В.О.	4	93
Эффект инженера Яркковского. Сурдин В.Г.	11	91

ДОСТОЙНЫЕ... НО НЕУДОСТОЕННЫЕ

Пионер молекулярной биологии (Памяти Розалин Франклин). Корочкин Л.И., Фридман С.А.	8	75
--	---	----

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Аист на крыше... Булавицнев В.И.	5	52
Вертишейка. Булавицнев В.И.	3	39
Кигиляхи Якутии. Мурзин Ю.А.	5	54
Кулик-бабочка. Булавицнев В.И.	4	47
Мельничные плотины на реке моего детства. Рыжиков А.И.	3	55
Отменный рыболов и красавец зимородок. Булавицнев В.И.	6	54
Певчие птицы с повадками хищника. Орден К.ван, Паклина Н.В.	11	45
Поля-террасы в Центральном Непале. Уфимцев Г.Ф.	12	47
Рекреационная нагрузка на природу Кабардино-Балкарии. Калов Р.О.	4	38
Синица синице рознь. Булавицнев В.И.	2	44
Флегрейские поля. Уфимцев Г.Ф.	5	48
Экологические привычки жителей Хазарского Каганата. Плетнева С.А.	9	64

КОРОТКО

1 36; 3 76; 4 54; 5 19, 27, 65; 6 7; 7 39; 8 49; 9 68; 10 45; 12 50, 61

ЛЕКТОРИЙ

Квантовая механика плененных фотонов. Оптические микрорезонаторы, волноводы, фотонные кристаллы. Звездин А.К.	10	12
Квантовый хаос в химии. Еремин В.В.	2	20
Нанотехнологическая революция стартовала! Головин Ю.И.	1	25
Происхождение специфических иммуноглобулинов. Галактионов В.Г.	7	40

НАСЛЕДИЕ

- «За СССР выявляется лик исстрадавшейся России»
(Письма В.И.Вернадского детям) 1 64
Из писем А.Н.Крылова дочери. Капица Е.Л. 5 67

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

- 200-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн». **Басов И.А.** 12 24
Биоминеральные микроструктуры
оксидных марганцевых агрегатов. **Лысюк Г.Н.** 2 65
Двигается ли гавайская горячая точка?
(197-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)
Басов И.А. 4 55
Дуб-кочевник. **Смирнова О.В., Бобровский М.В.** 12 26
Звезда, пожирающая свои планеты 7 80
Минералы в костях динозавров из урочища
Калбак-Кыры. **Кудрявцева А.И., Черезова О.С.** 1 47
Мониторинг геохимических процессов
в аккреционной призме
(196-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»)
Басов И.А. 2 64
О поверхностной электропроводности.
Семиков С.А. 12 19
Отчего гибнут «бесчешуйные ящеры»?
Орлов А.М., Ульянов В.А. 8 47
Палеогеновая эволюция осадконакопления
в экваториальной Пацифике
(199-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»). **Басов И.А.** 11 57
Поднятие Шатского: эхо важнейших событий мела
и палеогена (198-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»).
Басов И.А. 7 53
Проект NGRIP завершен, продолжение следует.
Талалай П.Г. 3 33
Розы в южном небе. **Вибе Д.З.** 7 79

- Рост численности бычка-бланкета в Черном море.
Чесалин М.В., Игнатьев С.М., Царин С.А. 2 62
Скальные обвалы в Горном Крыму. **Никонов А.А.** 1 42
Тигры на Хехцире. **Ткаченко К.Н.** 1 37

НЕКРОЛОГ

- Быть собой и остаться собой. Памяти Ю.А.Данилова.
Трубецков Д.И. 3 87

НОВЫЕ КНИГИ

1 92; 2 91; 3 93; 4 91; 5 92; 6 92; 7 91;
8 90; 9 91; 10 92; 11 89; 12 84

РЕЗОНАНС

- «Русалка» найдена! **Никонов А.А.** 10 93
Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае
и сейсмический потенциал региона. **Никонов А.А.** 5 41

РЕЦЕНЗИИ

- Еще раз о российской генетике. **Корочкин Л.И.** 9 88
Жить ради чести. **Зубрева М.Ю.** 5 89
Зимовка в Ледяной Гавани. **Корякин В.С.** 12 81
Знаки Вселенной. **Сурдин В.Г.** 8 87
История одной забытой экспедиции. **Сахарнов С.В.** 11 85
К горизонтам познания. **Сурдин В.Г.** 1 89
Новая история «одного рода пресноводных полипов
с руками в форме рогов». **Малахов В.В.** 7 90
О человеке, профессии и эпохе. **Филонович С.Р.** 6 90
Одиссея подводного флота России. **Лисицын А.П.** 2 87
«Основа жизненной машины планеты». **Гиляров А.М.** 4 88
Профессора дореволюционной России.
Чернова Н.М. 10 89
Путешествие к Красной планете. **Тоточева А.Г.** 3 91

Авторский указатель журнала «Природа» за 2003 год

А белев Г.И.	4	58	Блох А.М.	2	69	Г алактионов В.Г.	7	40
Абов Ю.Г.	12	62	Бобровский М.В.			Гарбар Н.М. (Леменовский Д.А.,		
Абрамова Е.Б. (Шарова Н.П.)	11	3	(Смирнова О.В.)	12	26	Брусова Г.П., Локшин Б.В.)	6	8
Агатова А.Р. (Новиков И.С.,			Богданов В.И.	7	55	Герштейн С.С.	8	62
Высоцкий Е.М., Гибшер А.С.)	3	19	Болотовский Б.М.	7	31	Гибшер А.С. (Новиков И.С.,		
Акифьев А.П.	10	3	Боринская С.А.	10	33	Высоцкий Е.М., Агатова А.Р.)	3	19
Алифанов В.Р. (Терещенко В.С.*)	2	85	Борисов В.П.	7	93	Гильфанов М.Р. (Гребенев С.А.,		
Аплонов С.В. (Лебедев Б.А.,			Брегадзе В.И. (Сиваев И.Б.)	4	3	Чуразов Е.М.)	1	16
Тимошенкова Н.В.)	2	50	Брусова Г.П. (Леменовский Д.А.,			Гиляров А.М.	1	85
Архангельский М.С.			Гарбар Н.М., Локшин Б.В.)	6	8		4	88
(Очев В.Г., Иванов А.В.)	10	46	Булавинцев В.И.	2	44		7	84
Астауров Б.Л.	10	69		3	39		11	83
				4	47		12	76
				5	52	Говорков Б.Б.	7	10
Б аранов В.С. (Баранова Е.В.)	12	3		6	54	Головин Ю.И.	1	25
Баранова Е.В. (Баранов В.С.)	12	3	Бурзин М.Б.	8	3	Городницкий А.М.	1	56
Баскин Л.М.	10	57	Бурзин М.Б. (Виноградов В.И.)	12	10	Гороховская Е.А.	3	60
Басов И.А.	2	64	Бялко А.В.	1	16	Гребенев С.А.		
	4	55		2	3	(Гильфанов М.Р., Чуразов Е.М.)	1	16
	7	53				Гродницкий Д.Л.	11	49
	11	57						
	12	24	В алуй Г.А.	11	31			
Бачурина Г.П. (Филиппович С.Ю.,			Василенко Ж.Г.	2	93	Д енисов С.П.	7	22
Крицкий М.С.)	3	49	Васильев А.Н. (Трухин В.И.)	4	17	Дмитриевский А.Н.		
Бейер Т.В. (Свезова Н.В.)	5	13	Вергасов В.Л. (Клечковская В.В.)	5	93	(Белонин М.Д.)	9	3
Белов С.В. (Фролов А.А.)	9	36	Вибе Д.З.	7	79	Добровольский В.В.	7	35
Белонин М.Д.			Виноградов В.И. (Бурзин М.Б.)	12	10	Добровольский Г.В.		
(Дмитриевский А.Н.)	9	3	Виноградов Г.М.	4	73	(Трофимов С.Я.)	3	3
Белоусов А.Б. (Белоусова М.Г.)	4	42	Владимиров Ю.А. (Осипов А.Н.)	1	6	Добровольский Г.В.		
Белоусова М.Г. (Белоусов А.Б.)	4	42	Войтеховский Ю.Л.	8	19	(Умаров М.М.)	6	15
Белянова Л.П.	1	9	Волков В.А.	3	94	Дорфман М.Д.	4	36
			Высоцкий Е.М. (Новиков И.С.,			Дровеников И.С. (Романов С.В.)	6	74
			Агатова А.Р., Гибшер А.С.)	3	19	Дэвлет Е.Г.	12	41

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Егоров В.С.	9	17	Липина Т.В.	11	76	Родников А.Г. (Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.)	10	23
Еремин А.Л.	4	23	Лисицын А.П.	2	87	Романенко Ф.А. (Шиловцева О.А.)	9	44
Еремин В.В.	2	20	Локшин Б.В. (Леменовский Д.А., Гарбар Н.М., Брусова Г.П.)	6	8	Романов С.В. (Дровеников И.С.)	6	74
Ефремов Ю.Н.	6	23	Лоренц К.	3	67	Рототаева О.В. (Носенко Г.А.)	8	41
Журавлев А.Ю.	7	62	Лукошков А.В.	6	40	Ружич В.В.	3	73
Забаринская Л.П.			Лукьянова Т.С.	12	31	Рыжиков А.И.	3	55
(Родников А.Г., Сергеева Н.А.)	10	23	Лысюк Г.Н.	2	65	Сахарнов С.В.	11	85
Звездин А.К.	10	12	Майр Э.	9	73	Сахарова Н.Ю.	5	28
Золотухин И.В.			Макаров Н.П. (Пантеева Н.М.)	8	92	Свежова Н.В. (Бейер Т.В.)	5	13
(Калинин Ю.Е.)	5	20	Малахов В.В.	6	31	Свиточ А.А.		
Зубрева М.Ю.	1	49	Мамирова Л.А. (Попадьин К.Ю.)	9	11	(Клювиткина Т.С.)	2	32
	5	89	Михайлов Г.К.	9	92	Семенов А.Ю. (Семенова А.А.)	6	67
Иванов А.В.			Мурдма И.О. (Келлер Н.Б.)	5	58	Семенов Д.В.	4	82
(Очев В.Г., Архангельский М.С.)	10	46	Мурзин Ю.А.	5	54		5	85
Иванова-Казас О.М.	4	49	Наугольных С.В.	9	26		6	86
Игнатъев С.М.	1	93	Никонов А.А.	1	42	Семенова А.А. (Семенов А.Ю.)	6	86
Игнатъев С.М.				3	72	Семиков С.А.	12	85
(Чесалин М.В., Царин С.А.)	2	62		5	41	Сергеева Н.А. (Родников А.Г., Забаринская Л.П.)	10	83
Исаков Д.В.	7	83		8	25	Сиваев И.Б. (Брегадзе В.И.)	4	82
				10	93	Сидоренков Н.С.	8	84
Калинин Ю.Е. (Золотухин И.В.)	5	20	Новиков И.С. (Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Гибшер А.С.)	3	19	Силкин Б.И.	3	82
Калов Р.О.	4	38	Носенко Г.А. (Рототаева О.В.)	8	41	Силкин Б.И. (Родников А.Г.)	9	82
Капица Е.Л.	5	67	Опаев А.С.	5	85	Скворцов А.К.	1	18
Кароль И.Л. (Шнееров Б.Е.)	3	27		6	87		9	69
Кароль И.Л. (Киселев А.А.)	7	47	Орден Кван (Паклина Н.В.)	11	45	Смирнова О.В.		
Келлер Н.Б. (Мурдма И.О.)	5	58	Орлов А.М. (Токранов А.М.)	2	39	(Бобровский М.В.)	12	26
Киселев А.А. (Кароль И.Л.)	7	47	Орлов А.М. (Ульченко В.А.)	8	47	С.М.С.	1	81
Киселев Л.Л. (Левина Е.С.)	4	62	Орлов В.Н.	4	29		2	76
Клечковская В.В. (Вергасов В.Л.)	5	93	Осипов А.Н. (Владимиров Ю.А.)	1	6		3	77
Климов В.В.	9	54	Островский А.Н.	11	39		4	72
Клювиткина Т.С. (Свиточ А.А.)	2	32	Очев В.Г. (Иванов А.В., Архангельский М.С.)	10	46		5	66
Ковальзон В.М.	2	12	Павлович Н.А.	10	50		7	78
Колчинский Э.И. (Конашев М.Б.)	9	71	Паевский В.А.	7	69		9	42
Конашев М.Б. (Колчинский Э.И.)	9	71		8	32	Сорокина М.Ю.	11	56
Константинов М.М.	2	27	Паклина Н.В. (Орден Кван)	11	45	Струнников В.А.	4	75
	6	49	Пантеева Н.М. (Макаров Н.П.)	8	92		8	50
Копылов А.В.	2	5	Петров П.Н.	8	83		1	82
Короткевич Г.В.	1	17		10	87		1	89
Корочкин Л.И. (Фридман С.А.)	8	75	Плетнева С.А.	9	64		2	78
Корочкин Л.И.	9	88	Попадьин К.Ю. (Мамирова Л.А.)	9	11		3	12
	10	76		11	84		3	79
Корякин В.С.	12	81		12	76		4	81
Кречмар А.В.	4	11		11	84		5	80
Крицкий М.С. (Филиппович С.Ю., Бачурина Г.П.)	3	49		12	76		6	81
Кудрявцева А.И. (Черезова О.С.)	1	47		9	64		8	87
Кузнецов В.Е.	6	94		11	84		11	75
Куликова-Иваненко Р.А.	8	69		12	76		11	91
Курочкин Е.Н.	5	3		9	64		11	91
Лаухин С.А.	3	85		11	59		11	91
Лебедев А.Н.	7	14	Расс Ирина Т. (Расс Ирма Т.)	11	59	Талалай П.Г.	3	33
Лебедев Б.А. (Аплонов С.В., Тимошенкова Н.В.)	2	50	Расс Ирма Т. (Расс Ирина Т.)	11	59		8	84
Левина Е.С. (Киселев Л.Л.)	4	62	Расцветаева Р.К.	4	33	Терещенко В.С. (Алифанов В.Р.)	2	85
Леменовский Д.А. (Гарбар Н.М., Бруслова Г.П., Локшин Б.В.)	6	8	Ритус В.И.	12	51	Тимошенкова Н.В. (Аплонов С.В., Лебедев Б.А.)	2	50
			Родников А.Г. (Силкин Б.И.)	9	40			

Ткаченко К.Н.	1	37	Фащук Д.Я.	10	39	Чернышев А.К.	6	58
Токранов А.М. (Орлов А.М.)	2	39	Филиппович С.Ю.			Чесалин М.В.		
Тоточава А.Г.	3	91	(Бачурина Г.П., Крицкий М.С.)	3	49	(Игнатъев С.М., Царин С.А.)	2	62
Трофимов С.Я.			Филонович С.Р.	6	90	Чикин В.О.	4	93
(Добровольский Г.В.)	3	3	Фомин И.А.	1	3	Чуразов Е.М.		
Трубецков Д.И.	3	87	Фридман С.А. (Корочкин Л.И.)	8	75	(Гильфанов М.Р., Гребенев С.А.)	1	16
Трубников Б.А.			Фролов А.А. (Белов С.В.)	9	36			
(Трубникова О.Б.)	11	13				Шапоренко С.И.	11	23
Трубникова О.Б.			Хаин В.Е.	6	3	Шарова Н.П.		
(Трубников Б.А.)	11	13				(Абрамова Е.Б.)	11	3
Трухин В.И. (Васильев А.Н.)	4	17	Царин С.А.			Шилова С.А.	3	41
			(Чесалин М.В., Игнатъев С.М.)	2	62	Шиловцева О.А.		
Ульченко В.А. (Орлов А.М.)	8	47	Черезова О.С.			(Романенко Ф.А.)	9	44
Умаров М.М.			(Кудрявцева А.И.)	1	47	Шнееров Б.Е.		
(Добровольский Г.В.)	6	15	Черенкова Е.П.	7	4	(Кароль И.Л.)	3	27
Уфимцев Г.Ф.	5	48	Чернова Н.М.	10	89	Ярошевский А.А.	11	38
	12	47						

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Маро́новский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.11.2004
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 8899
Набрано и сверстано в редакции

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