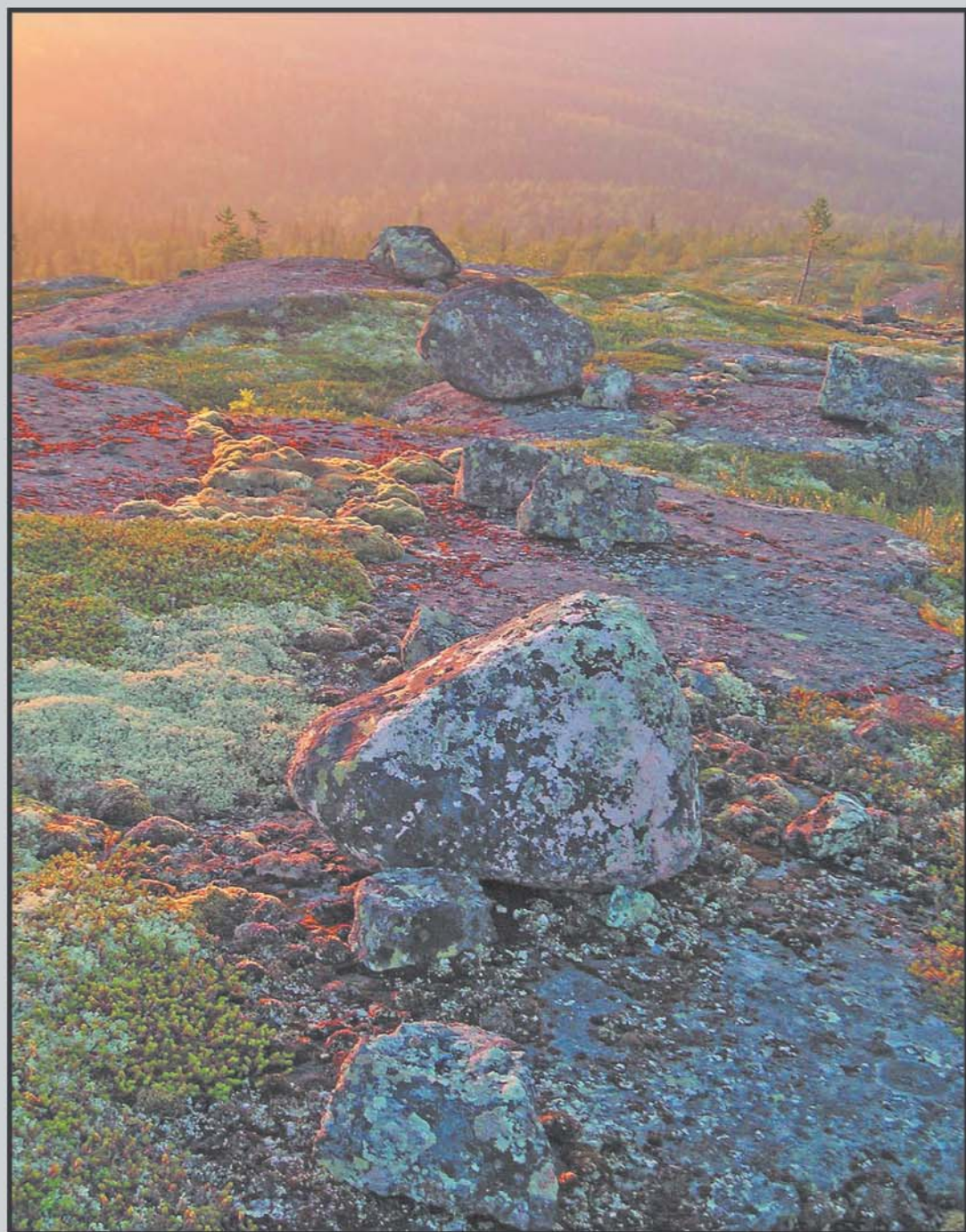


ПРИРОДА

8 07



В НОМЕРЕ:

3 Рубцов Н.Б.
Хромосома человека в четырех измерениях
Сегодня благодаря развитию новых технологий и появлению трехмерной микроскопии можно увидеть реальную хромосому, совершенно отличную от той, которую уже десятки лет наблюдали цитологи на препаратах хромосом.

11 Пушаровский Д.Ю., Зубкова Н.В.
Современная рентгенография минералов
Современная рентгенография дает возможность изучать структуры монокристаллов в несколько микрон; минералов, вообще не образующих монокристаллов, а также проводить эксперименты в рентгеновских камерах, позволяющие моделировать состояние вещества в глубинных геосферах.

Лекторий

19 Берлянт А.М.
Глобусы: второе рождение

29 Бескин В.С.
«Центральная машина» в компактных астрофизических объектах
Вращающаяся черная дыра уже давно обсуждается в качестве «центральной машины», способной объяснить активность многих астрофизических источников. Однако прямая аналогия с электромагнитными процессами, происходящими в плоском пространстве, не всегда оказывается полезной для понимания явлений в сильных гравитационных полях.

38 Лебедев С.Г.
По следам углеродной сверхпроводимости
Некоторые гранулярные углеродные пленки, полученные распылением графита в электрической дуге, похоже, обладают сверхпроводящим свойством. Но это еще требует тщательных исследований, а пока такие конденсаты могут найти применение в энергетике и электронике.

45 Козлов А.И.
Сухой закон для поселка и джин для Председателя

49 Калейдоскоп
 «Климатические качели» (49). Характер муссонов в Индии меняется (49). Уровень эрозии почв (49). Сверхпрочный моющийся скотч (50). Извержение вызвано работой буровой скважины (50). Модернизация сети предупреждения о цунами (50). Генетически модифицированные быки (50).

51 Мизин В.Г.
Вести из экспедиций
На плато сейдов Кольского полуострова
Яблонский Л.Т.
Сокровища сарматского кургана (59)

63 Мамкаев Ю.В., Степаньянц С.Д.
Зоолог, открывший мир погонофор
К 100-летию Артемия Васильевича Иванова

74 Малахов В.В.
Эволюционная морфология в России оживает
 Размышления после конференции

79
Жизнь, посвященная океану
 Памяти М.Е.Виноградова

81 Новости науки
 Трехмерное распределение темного вещества (81). Рекордная скорость вращения нейтронной звезды. **Вибе Д.З.** (81). Гигантская далекая галактика оказалась близкой карликовой (82). Загадка нейтрино решается (83). Нанотрубки учатся читать (83). Городские птицы меняют характер пения (84). Глобальное потепление и инкубация яиц пресмыкающихся (84). Ноотропный дипептид против глутамата (85). Прибрежные экосистемы больших городов. **Померанец К.С.** (85). Биоразнообразие моря Уэдделла (86). Самая северная в мире стоянка людей эпохи позднего палеолита. **Лаухин С.А.** (86).
 Коротко (44, 58, 78)

88 Рецензии
Симонов Р.А.
Неживая старина

91 Новые книги

94 В конце номера
Кузьмин А.В.
Небесный корабль

CONTENTS:

3 Rubtsov N.B. **Humane Chromosome in Four Dimensions**

Due to development of new technologies and advent of 3D live cell microscopy it became possible now to see a real chromosome, completely different from what cytologists have been observed for decades in chromosome preparations.

11 Pushcharovsky D.Yu., Zubkova N.V. **Present-day X-Ray Analysis of Minerals**

Modern X-ray analysis allows to study structures of several-micron-sized monocrystals; of minerals that do not form crystals at all, and also conduct experiments in roentgen chambers modeling state of matter in deep geospheres.

Lectures

19 Berlyant A.M. **Globes: the Second Birth**

29 Beskin V.S. **«Central Engine» in Compact Astrophysical Objects**

Rotating black hole is believed to be a «central engine», which can explain the activity of many astrophysical objects. However the direct analogy to the electromagnetic processes occurring in flat space, not always appears useful to understanding of the phenomena in strong gravitational fields.

38 Lebedev S.G. **Following in the Tracks of Carbon Superconductivity**

Some granular carbon films obtained by pulverizing graphite in electric arc seem to show superconductive behavior. But this still requires thorough tests, and meanwhile these condensates can find applications in energy engineering and electronics.

45 Kozlov A.I. **Dry Law for a Settlement and Gin for the Chairman**

49 Kaleidoscope

«Climate Swing» (49). Monsoon Pattern in India Is Changing (49). Soil Erosion Rate (49). How Super-strong Washable Adhesive Tape (50). Mud Volcano Eruption Caused by Borehole Drilling (50). Modernization of Tsunami Alarm Network (50). Genetically Modified Bulls (50).

News from Expeditions

51 Mizin V.G. **At Plato of Seids in Kola Peninsula** **Yablonsky L.T.** **Treasures of Sarmatian Burial Mound (59)**

63 Mamkaev Yu.V., Stepanyants S.D. **Zoologist Who Discovered World of Pogonophores** To Centenary of Artemiy Vasilevich Ivanov

74 Malakhov V.V. **Revival of Evolutionary Morphology in Russia** Reflections after Conference

79 **Life Devoted to Ocean** In Memoriam of M.E.Vinogradov

81 Science News

3D Distribution of Dark Matter (81). Record Spinning Velocity of Neutron Star. **Wiebe D.Z.** (81). A Giant Distant Galaxy Turned out to Be a Dwarf Close One (82). Neutrino Riddle Is Unraveled (83). Nanotubes Learn to Read (83). Urban Birds Change Song Pattern (84). Global Warming and Reptilian Eggs Incubation (84). Nootropic Dipeptide against Glutamate (85). Near-shore Ecosystems of Big Cities. **Pomeranets K.S.** (85). Biodiversity of Weddell Sea (86). The World Most Northern Late Paleolithic Site. **Laukhin S.A.** (86).
In Brief (44, 58, 78)

Book Reviews

88 Simonov R.A. **Non-Living Antiquity**

91 New Books

In the End of Issue

94 Kuzmin A.V. **Celestial Ship**



Хромосома человека в четырех измерениях

Н.Б.Рубцов

В марте 2000 г. на весь мир громко и гордо прозвучало: «Геном человека секвенирован!». Однако скоро стало ясно, что геном человека прочитан, но не расшифрован. Сегодня приходится признать, что мы научились читать и писать, почти не понимая того, что пишем и читаем. Пока нам известны лишь некоторые «слова» и понятны некоторые правила этого нового языка, изучение которого, возможно, окажется более сложной задачей, чем простое «чтение-записывание» в длинные цепочки символов А, Т, G, С. На этом пути нас явно ждут многочисленные проблемы. Одна из них состоит в том, что геном, записанный пока в одномерном варианте, на самом деле трех- или даже четырехмерен.

В настоящее время одно из важных направлений в изучении реального генома — расшифровка пространственной организации хромосом и их отдельных районов. Наши исследования хромосомных перестроек показали, что реорганизация даже одной отдельной хромосомы может изменить общую архитектуру ядра.

Хромосомы вчера и сегодня

История изучения хромосом интересна и поучительна. Обращаясь к ней, невольно вспоми-



Николай Борисович Рубцов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией морфологии и функции клеточных структур Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), специалист в области молекулярной цитогенетики, лазерной сканирующей микроскопии. Основные исследования посвящены разработке новых методов анализа хромосом млекопитающих, их структурно-функциональной организации, происхождению и составу В-хромосом, эволюции хромосом млекопитающих.

наешь некоторые с детства знакомые мудрые изречения и притчи. Например, что искать что-либо лучше всего там, где светло. А история обследования слона группой слепых показывает, насколько наши представления об объекте зависят от того, до какой его части мы смогли дотянуться. Долгое время изучение хромосом млекопитающих в какой-то мере сильно напоминало этот процесс. В большинстве клеток хромосомы можно было увидеть лишь во время относительно короткого отрезка времени, связанного с делением клетки, т.е. во время митоза. Конечно, есть немало исключений. В некоторых клетках, у некоторых видов (почти как в некотором царстве, некотором государстве) нашли огромные хромосомы, видимые даже невооруженным глазом, причем во время интерфазы,

когда в обычных клетках хромосома остается невидимой и активно работает. Эти исключительные хромосомы оказались конгломератом более 1000 копий исходной хромосомы. Самые известные примеры таких гигантов — политенные хромосомы *Drosophila melanogaster* и *Chironomus tummy*.

Хромосомы млекопитающих, в том числе и человека, намного меньше политенных. Однако трудность их анализа заключалась не в малом размере: для биологов, вооруженных электронным микроскопом, хромосома человека велика. Проблема в другом. В обычных клетках в интерфазе хромосомы так плотно прилегают друг к другу, что даже при самом бережном обращении их материал так перемешивается, что не остается никаких шансов рассмотреть отдельные хромосомы, не говоря

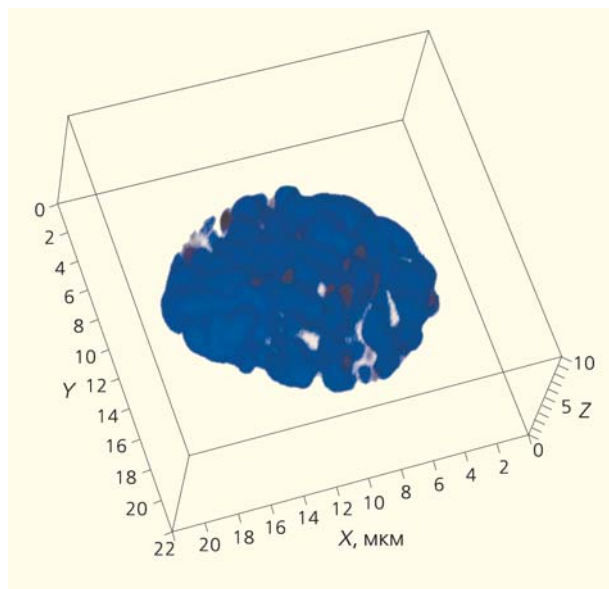


Рис.1. Трехмерная реконструкция хромосом фибробласта бурозубки в митозе. Синим цветом обозначена ДНК хромосом, темно-серым — теломерные районы; линиями — район сканирования. Масштаб указан по осям X, Y и Z. Конфокальная микроскопия проведена на микроскопе LSM510META производства фирмы ZEISS.



Рис.2. GTG-окрашенные метафазные хромосомы человека (47, XY, +18).

уже о каких-либо деталях. Но несмотря на все эти трудности, цитогенетики с помощью электронной микроскопии немало сделали в изучении организации хромосомы и ее отдельных элементов. Надо отдать должное и политенным хромосомам, которые долго рассматривали как непревзойденную модель интерфазной хромосомы.

Вернемся к хромосомам человека. Они превращаются в прочные структуры лишь на короткое время, непосредственно перед делением. Именно на стадии митоза появляется шанс рассмотреть их достаточно подробно (рис.1). Правда, предварительно их надо отделить одну от другой и разложить на стекле. Эта задача долго оставалась непосильной. С момента первых описаний хромосом во второй половине XIX в. прошло около 80 лет, прежде чем цитогенетики смогли правильно подсчитать число хромосом у человека. Это сделали в 1956 г. практически одновременно две пары исследователей: Дж.Тио и Аллеван,

Ч.Форд и Дж.Хаммертон. Их работы стали переломным моментом в изучении хромосом человека.

В конце 60-х — начале 70-х после разработки методов дифференциального окрашивания появилась возможность идентифицировать все хромосомы человека и их отдельные районы. Поскольку в таких исследованиях хромосомы выглядели как вытянутые структуры, состоящие из участков с различной интенсивностью окрашивания (их шириной и толщиной можно было пренебречь), для их описания достаточно было перечислить порядок и ориентацию всех участков (рис.2).

Учитывая, что основу хромосомы составляет невероятно длинная молекула ДНК, которая в свою очередь описывается как чередование пуриновых и пиримидиновых оснований (—ATGGTCACCTAGTTC—), мы привыкли воспринимать хромосому, с одной стороны, как отдельный элемент генома, с другой — как одномерную структу-

ру. На этих представлениях строилась стратегия гибридизации для определения локализации конкретных генов сначала с точностью до хромосомы, а затем до ее района. Проводя картирование генов человека и других млекопитающих, мы, как и другие исследователи, работающие в этой области, следили, совместно с какой хромосомой, а затем и ее районом теряется интересующий нас ген [1].

Наши представления о хромосоме почти не изменились, даже когда появились методы локализации в хромосоме конкретных последовательностей ДНК с помощью гибридизации нуклеиновых кислот *in situ* (непосредственно на своем месте). Этот метод во многом способствовал прочтению генома человека. Но в результате дальнейших исследований стало ясно, что данных о последовательности нуклеотидов в ДНК явно недостаточно для реальной расшифровки генома человека. Усилиями молекулярных биологов и биоинформатиков получены неко-

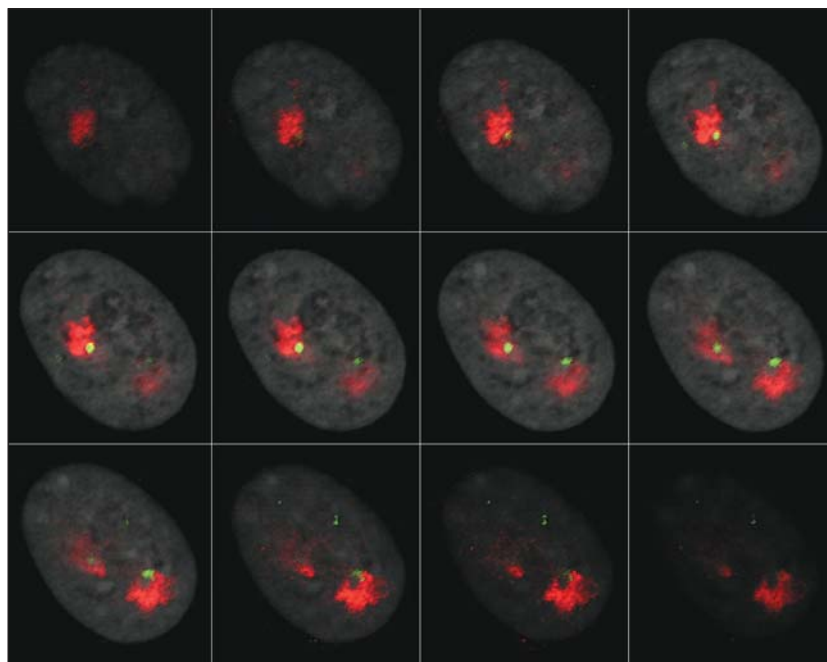


Рис.3. Частичная галерея оптических срезов интерфазного ядра фибробласта человека. Красным выделена ДНК хромосомы 9; зеленым — ДНК центромерного района хромосомы 9; серым — ДНК всех хромосом.

торые представления о трехмерной организации генома, но эти успехи обычно ограничены сравнительно небольшими его участками. Попытки провести реконструкцию трехмерной организации всего генома человека в виртуальном компьютерном мире (*in silico*) дали пока весьма

ограниченные результаты. Возможно, биоинформатики и смогут решить некоторые вопросы, но проверку найденных ими ответов все равно придется проводить экспериментаторам.

Сегодня пришли новые технологии и методы, благодаря чему микроскопия в биологии

стала трехмерной. Появилась возможность рассмотреть хромосому в интерфазном ядре и получить информацию о локализации в нем сразу всех хромосом человека [2]. Для этого широко применяют гибридизацию *in situ* (FISH) ДНК индивидуальных хромосом, меченной флуоресцентными красителями, с ДНК интерфазного ядра. Затем с помощью лазерного сканирующего микроскопа получают серию оптических срезов ядра, на которых зарегистрированы интересующие исследователя сигналы (рис.3). Такие оптические срезы можно рассматривать отдельно, использовать для создания ортогональных проекций (рис.4) или для реконструкции трехмерной организации клеточного ядра (рис.5).

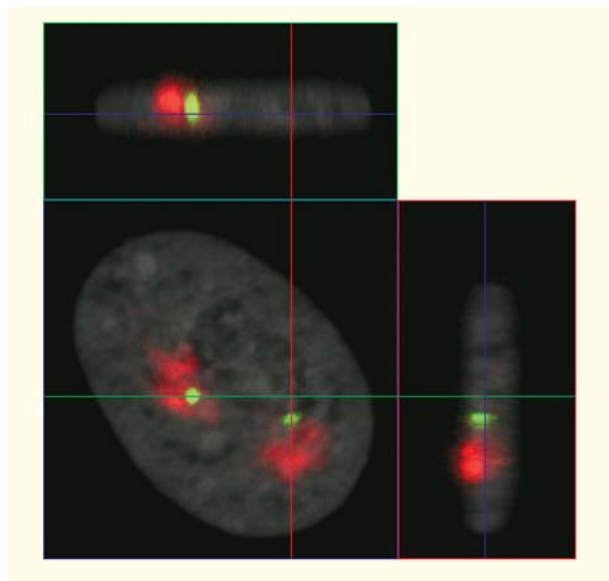


Рис.4. Ортогональные проекции интерфазного ядра фибробласта человека (серии их оптических срезов приведены на рис.3). Линии показывают положения плоскостей оптических срезов: XY — синяя, XZ — зеленая, YZ — красная.

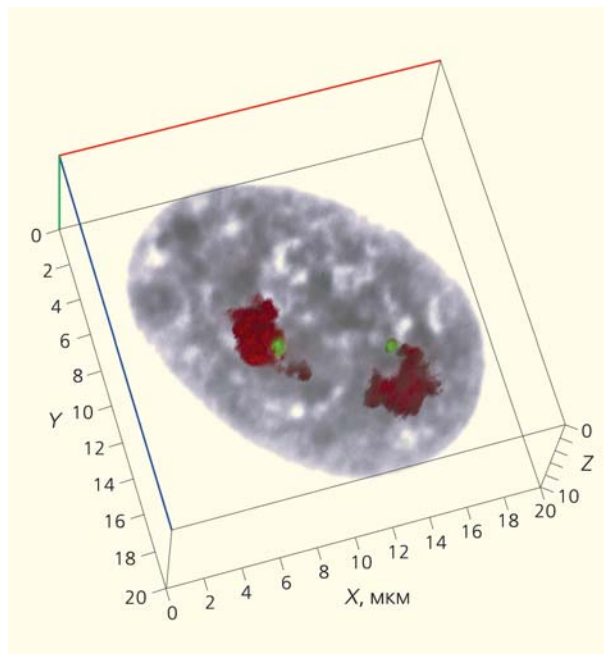


Рис.5. Трехмерная реконструкция интерфазного ядра фибробласта человека из серии оптических срезов, приведенных на рис.3. Масштаб указан по осям X, Y, Z.

Удивительно, как мало времени потребовалось, чтобы перейти к работе в четырехмерном пространстве. Еще одной координатой стало время. Результаты поиска в интернете по словам 4D-microscopy (3D time-lapse microscopy) демонстрируют наглядные доказательства прогресса в этом направлении. То, что совсем недавно казалось абсолютно невозможным, сегодня — передовой край исследований, а завтра превратится, вероятно, в рутину лабораторных будней. Стоит отметить, что разработанные нами методы микродиссекции метафазных хромосом для получения разнообразных ДНК-зондов внесли свой вклад в превращение молекулярной цитогенетики в эффективную систему диагностики хромосомных аномалий.

Происхождение прекрасных метафазных хромосом

Аккуратно разложенные на поверхности стекла прометафазные и метафазные хромосомы млекопитающих радуют глаз цитолога своей четкой морфологией уже более 50 лет. Когда

любешься ими, не хочется вспоминать, что в живой клетке они никогда не бывают такими. Со школьной скамьи мы привыкли к тому, что в митозе длина хромосом уменьшается. Рисунок на страницах школьного учебника наглядно показывает, как деконденсированные в ядре перед делением хромосомы становятся все короче и короче, превращаясь в конце концов в компактные структуры, которые успешно расходятся в дочерние клетки (рис.6). За этими представлениями стоит многолетний опыт тысяч цитогенетиков. Каждый день при анализе цитологических препаратов перед нашими глазами проходили и сегодня проходят тысячи подобных картин. В школе у любопытных детей обычно возникал вопрос, как же происходит такое изменение размеров и формы хромосом, и как они расходятся, не завязываясь в узлы?

Теперь мы знаем ответ. Каждая хромосома занимает в ядре свою собственную территорию, не деля ее с другими хромосомами. Оказалось, что не только хромосомы, но и их плечи имеют собственные территории. Наши попытки более детального анализа организации интер-

фазной хромосомы показали, что отдельные ее районы располагаются в занимаемом ею пространстве примерно в том же порядке, что и в метафазе. Более того, размеры хромосомы в интерфазе близки к таковым в метафазе. Вывод, вытекающий из этих результатов, а также ряда других работ, в которых удалось проследить за движением конкретных участков хромосомы в ядре от середины интерфазы до начала деления, очевиден: при деконденсации-конденсации хромосом не происходит каких-либо глобальных изменений их габаритов и значительных перемещений хромосомных районов, т.е. отношение длины и ширины (толщины) хромосомы почти не меняется.

Невольно возникает вопрос о происхождении длинных, красивых метафазных хромосом, которые мы видим на цитологическом препарате. Благодаря им можно идентифицировать отдельные хромосомы и их районы, выявлять случаи внутри- и межхромосомной реорганизации, определять локализацию конкретных генов и других последовательностей ДНК, а также делать много других полезных и нужных вещей. Но поскольку в живой клетке хромосомы по форме совсем не похожи на метафазные, лежащие на предметном стекле, то надо признать, что такие хромосомы — просто артефакты. Для большинства цитогенетиков это очень обидное слово. Хотя при спокойном размышлении можно прийти к заключению, что огорчаться нечему. Да, в клетке не бывает таких длинных хромосом, да, на цитологическом препарате они выглядят так из-за специальной фиксации материала и его особого нанесения на стекло. Что же меняется в хромосоме при переходе клетки к митозу, и почему эти изменения так влияют на морфологию хромосомы при укладке на предметное стекло?

Суть приготовления препаратов митотических хромосом млекопитающих заключается

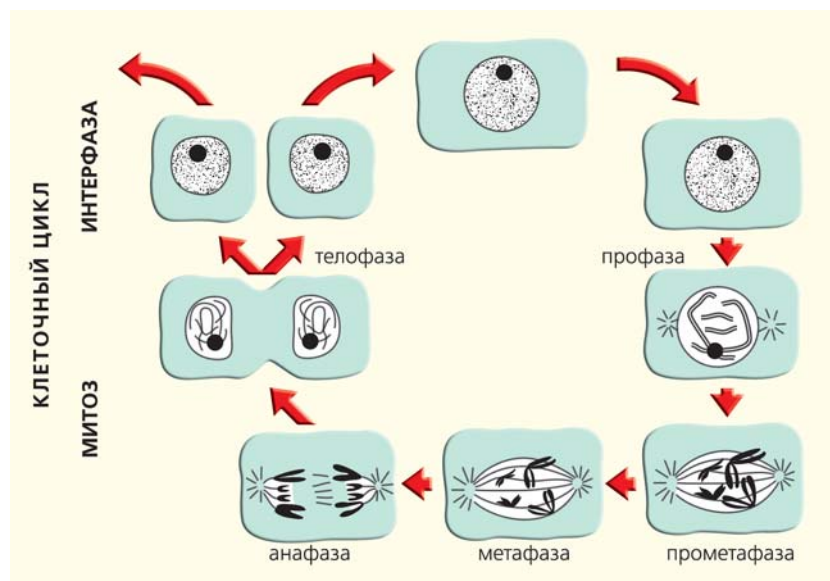


Рис.6. Схема реорганизации хромосом в клеточном цикле (из школьного учебника).

в распластывании фиксированных клеток на поверхности стекла. Цитоплазма растягивается до почти невидимого слоя, а клеточные ядра превращаются в плоский блин. Самое интересное происходит с метафазными клетками, в которых ядерная оболочка уже разобрана. Весь материал этих клеток растекается тонким слоем, и только хромосомы в состоянии сопротивляться силам, растаскивающим клеточный материал по поверхности стекла. Но и для них такое воздействие не остается незамеченным: их плечи распрямляются, а хроматиды расходятся. Конечно, после разборки ядерной оболочки происходит некоторое передвижение хромосом и, вероятно, небольшое изменение их размеров. Но в метафазе, анафазе и телофазе положение хромосом остается почти таким же, как в предшествующей интерфазе.

При вхождении клетки в митоз способность хромосом сохранять свою форму и размер увеличивается за счет их связывания с белками конденсины. В результате изменяется укладка хроматина, и хромосомы становятся более устойчивыми к растяжению и распластыванию на стекле во время испарения фиксатора. Кроме этого, в митозе из хромосомных плеч уходит белок когезин, который удерживает рядом сестринские молекулы ДНК, возникшие после удвоения исходной ДНК. Высвобождение когезина приводит к потере связи между сестринскими хроматидами, которые при распластывании хромосом расходятся. В результате двуплечие хромосомы образуют классические Х-подобные фигуры, изображение которых уже многие годы считается символом хромосом.

Несколько сложнее дело обстоит с районами хромосомных плеч, с которыми белки конденсины связываются по-разному. В первую очередь способность сопротивляться растяжению приобретают районы, обедненные генами (так называемые G-

бэнды). По этому признаку различаются и районы, обогащенные активно работающими генами (R-бэндами). Более того, вероятно, существует достаточно строгий порядок, согласно которому конденсины связываются с разными R-бэндами, определяя изменения митотической хромосомы от профазы до метафазы. Чем дальше прошла клетка в митозе, тем меньше остается районов, способных к растяжению, и тем короче будет хромосома на цитологическом препарате.

Правда, есть и другой момент в приготовлении цитологических препаратов. Он связан с силой, действующей на хромосомы при их распластывании. Сила эта зависит от комбинации нескольких факторов, изменение которых сложно заметить (например, влажности воздуха). Иногда уже на следующий день качество приготовленных цитологических препаратов катастрофически ухудшается, и происходит это не по вине лаборанта. Механизм, ответственный за растяжение-распластывание хромосомы на стекле, достаточно прост, и заинтересованный читатель может найти его описание в опубликованных статьях [2].

Хромосомы *in vivo*, *in vitro* и *in silico*

Особенно интересно сравнение состава, локализации и порядка конденсации отдельных районов хромосом. В первую очередь реплицируются (а конденсируются в последнюю) районы, обогащенные активно работающими генами. Их растяжение, вероятно, — одна из основных причин выявления в хромосомах чередующихся районов, отличающихся по интенсивности окрашивания. В разложенной на стекле хромосоме выделяются районы R- и G-бэндов.

Но реальная хромосома организована иначе. При изучении распределения районов,

обогащенных и обедненных генами (R- и G-бэндов), выяснилось, что в интерфазной хромосоме эти участки не чередуются вдоль хромосомы, как на цитологическом препарате, а распределены между внутренней частью хромосомной территории и ее поверхностью. Вероятно, такое расположение R- и G-бэндов сохраняется и в митотических хромосомах. Только в момент распластывания хромосомы на стекле более рыхлый и эластичный материал R-бэндов в результате растяжения хромосомы перемещается на позицию, совпадающую с пространственной осью хромосомных плеч (рис.7).

Показано, что в пространстве, занимаемом хромосомой, активно работающие гены находятся на границе ее территории или в непосредственной близости от нее, а неактивный материал спрятан внутри ее территории. Вероятно, это имеет огромное значение для регуляции активности генов. Хромосомная территория окружена межхроматиновым пространством, в котором много ферментов, ответственных за транскрипцию генов и дальнейшее преобразование синтезированной РНК [3, 4]. Проникнуть во внутреннее пространство хромосомной территории этим ферментам непросто. Плотно упакованный хромосомный материал практически не оставляет свободного места для их передвижения внутри хромосомной территории. На какое-то время плотность упаковки ДНК уменьшается. Без этого репликация ДНК внутренних районов хромосомы была бы невозможна. Ведь ферменты репликации должны хоть на непродолжительное время получить туда доступ. Вместе с ними туда имеют шанс проникнуть и ферменты транскрипции. Но их там не может быть много, и активно работать там они не в состоянии.

R- и G-бэнды отличаются не только по количеству и составу входящих в них генов, плотнос-

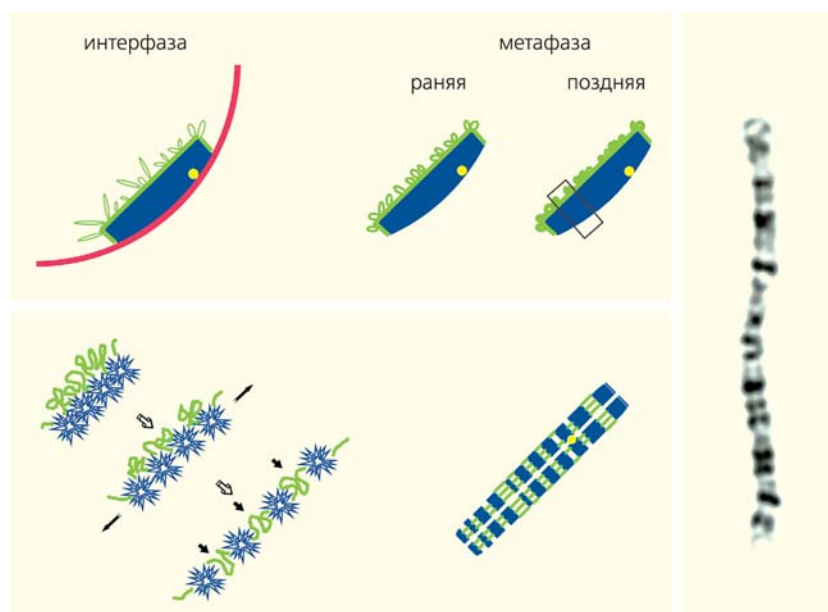


Рис.7. Предполагаемая схема реорганизации хромосомы в живой клетке в метафазную хромосому на цитологическом препарате. На оптических срезах хромосомы (вверху) видны районы, обедненные функционирующими генами (G-бэнды, синий цвет); обогащенные активно работающими генами (R-бэнды, зеленый); центромерный район (желтый); ядерная оболочка (красный). Внизу показано движение R- и G-бэндов во время расплывания хромосомы по стеклу (слева) и их расположение в метафазной хромосоме на цитологическом препарате. Справа — фотография GTG-окрашенной второй хромосомы человека на цитологическом препарате.

ти упаковки и пространственной локализации, но и по составу «нехромосомных» белков, находящихся в этих районах. Сравнение ДНК R- и G-бэндов показало множество других отличий, например по составу повторенных последовательностей, по соотношению AT и GC пар нуклеотидов. Достаточно заглянуть в любой учебник или солидный обзор, чтобы выяснить, что R-бэнды обогащены GC парами и короткими диспергированными повторами, тогда как в G-бэндах больше AT пар и длинных диспергированных повторов.

Казалось бы, знание этих закономерностей позволяет создать виртуальную модель хромосомы, да и всего генома человека. Однако такая модель, построенная на основе известной последовательности нуклеотидов с определенными границами между R- и G-бэндами, оказа-

лась весьма далека от хромосомы *in vitro* (о хромосоме *in vivo* и говорить не стоит). Но при сравнении хромосомы *in vitro* с ее виртуальной моделью был удачно проведен поиск условий, при которых виртуальная модель получалась похожей на реальную хромосому. Выяснилось, что обогащение AT или GC парами имеет значение, если сравнивать районы не в среднем по геному или отдельной хромосоме, а по «ближайшему окружению» (около $9 \cdot 10^6$ пар нуклеотидов). В этом случае картина виртуальных хромосом получалась очень близкой к схеме R- и G-бэндов анализируемых хромосом.

Хромосома в *n*-мерном пространстве

Пора вспомнить, что хромосомы — это объекты из реального мира, занимающие в ядре

часть трехмерного пространства. Если представить время как еще одну ось координат, то можно попробовать описать хромосому в терминах 4D. Как уже упоминалось выше, благодаря развитию молекулярной биологии и конфокальной микроскопии можно не только «видеть» хромосому в клеточном ядре (рис.5), но даже отличить хромосомные территории нормального гомолога от его перестроенного варианта. Примером может служить наша работа по изучению влияния реорганизации хромосом на их положение в ядрах стволовых клеток человека (рис.8).

К сожалению, обычно жизнь сложнее простых схем, а простые термины могут вносить значительную путаницу. Сегодня описать строение интерфазного ядра нельзя без использования таких понятий, как хромосомная территория и межхроматиновое пространство [5]. Посмотрим повнимательнее, что стоит за этими терминами.

В настоящее время под «хромосомной территорией» понимают ту часть ядра, в которой с помощью гибридизации меченой ДНК и трехмерной микроскопии выявляется хромосомный материал. Межхроматиновым пространством называют ту часть ядра, в которой при использовании стандартных методов и трехмерной микроскопии хроматин не обнаруживается. На самом деле часть материала хромосомы находится за пределами ее территории, а межхроматиновое пространство содержит хроматин. В свете этих данных широко используемая терминология выглядит несколько странно. Но стоит ли удивляться? Вы уверены, что когда-либо видели настоящий белый цвет? Чем он отличается от очень светлого серого? Не было ли там небольшого голубого оттенка? Если нет проблем в понимании того, что имеет в виду ваш собеседник, используя конкретный термин, то нет и проблем, связанных с этим термином.

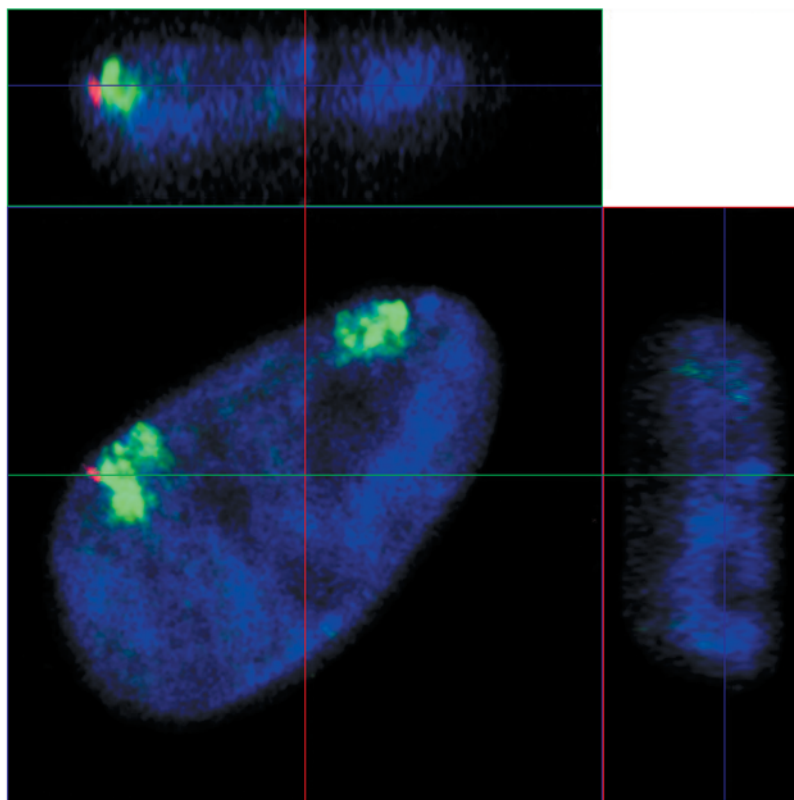


Рис.8. Ортогональные проекции интерфазного ядра эмбриональной стволовой клетки человека, в одном из гомологов хромосомы 18 которой потеряна часть короткого и часть длинного плеча. Зеленым обозначена ДНК хромосомы 18; красным — ДНК из района делеции перестроенной хромосомы 18; синим — ДНК всех хромосом. Линии показывают положения плоскостей оптических срезов как на рис.4.

Что же представляет собой материал хромосомы, имеющийся за ее пределами в межхроматиновом пространстве? Рассмотрим это на примере короткого плеча хромосомы 11 человека. Анализ его локализации в интерфазном ядре показал, что некоторые участки молекулы ДНК находятся далеко за пределами хромосомной территории. Этот факт легко объяснить. Отдельная петля ДНК в ядре не видна при использовании хромосомоспецифичных ДНК-зондов, в то время как FISH с ДНК-зондом, сделанным на базе клонированного фрагмента, дает в интерфазном ядре четкий сигнал (рис.9).

Действительно, из хромосомных территорий в межхроматиновое пространство выхо-

дят гигантские петли ДНК. В их составе присутствуют гены, которые должны активно работать в клетке. Они и уходят за пределы хромосомной территории, потому что именно там условия для их работы идеальны. В межхроматиновом пространстве расположены целые комплексы молекул, обеспечивающих синтез информационной РНК и ее дальнейшие преобразования. Есть еще одно преимущество для такого синтеза в межхроматиновом пространстве. Оно не только место локализации фабрик синтеза РНК, но и магистральный путь, позволяющий генным продуктам быстро добраться до оболочки ядра, а затем через ядерную пору перейти в цитоплазму для участия в производстве белка.

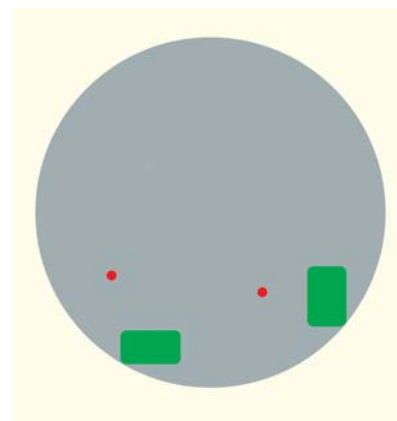


Рис.9. ДНК хромосомы за пределами хромосомной территории (схема оптического среза). Серым показано интерфазное ядро; зеленым — территория короткого плеча хромосомы 11 [7]. Красным — фрагмент ДНК из дистального района короткого плеча хромосомы 11.

Остановимся несколько подробнее на работе таких «фабрик транскрипции» (термин, предложенный П.Фрезером, наглядно отражает роль этих макромолекулярных комплексов). Одна такая «фабрика» может одновременно работать с ДНК из разных районов одной хромосомы или даже из разных хромосом. Причем расстояние между генами одной хромосомы может быть более 20 млн пар оснований. Это наглядно показано в опытах, проведенных Фрезером и его коллегами (рис.10).

Помимо гигантских петель, выходящих в межхроматиновое пространство, есть и другие районы хромосом, материал которых расположен на периферии их территорий и представляет собой относительно слабо конденсированный хроматин. В них также содержатся функционально активные гены, по крайней мере имеющие шанс быть активными, так как они доступны для полимераз. Конечно, нахождение в этих районах не обеспечивает включение гена, оно лишь делает его доступным для включения. Очень соблаз-

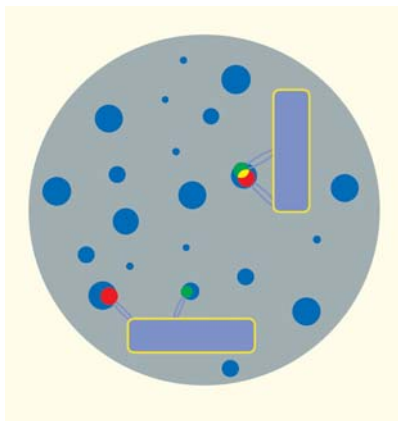


Рис.10. Локализация активных генов в «блуждающих гигантских петлях» ДНК и «транскрипционных фабрик» в межхроматиновом пространстве (схема оптического среза). Серым выделено интерфазное ядро эритроидной клетки мыши, фиолетовым — территории хромосомы 7, синим — «транскрипционные фабрики» (иммуноокрашивание РНК-полимеразы II); красный и зеленый цвета — активные гены *Hbb* (β -цепи гемоглобина) и *Eraf* (эритроидного фактора) [5].

нительной выглядит гипотеза, согласно которой при дифференцировке клеток формируется необходимый вариант пространственной организации хромосомных территорий: он определяет спектр генов, которые могут быть допущены к работе и чья активность управляется другими, привычными для молекулярного биолога механизмами.

Возможно, для полного описания хромосомы даже рассмотрение ее в четырехмерном пространстве окажется недостаточным. Иногда очень важна и ее отдаленная история, проявляющаяся в импринтинге соот-

ветствующих хромосомных районов. При идентичных геномах (по нуклеотидным последовательностям) возможно появление хорошо различимых нарушений у их владельцев. Так, небольшая делеция в проксимальном районе длинного плеча хромосомы 15 человека может инициировать и синдром Прадена—Вилли, и синдром Энгельмана. Определяющим в формировании патологии служит путь хромосомы в зиготу: проходит ли она через сперматогенез или оогенез.

Как ни печально, но следует признать, что и сегодня едва ли можно рассчитывать на полное описание хромосомы: ее организации, состояния и возможных потенциальных изменений, принципиально важных для реализации в клетке информации, записанной в ее геноме. Но дорожку осилит идущий.

Значение хорошей системы управления понятно любому человеку. С результатами ее ошибок мы постоянно встречаемся в нашей повседневной жизни. Организм человека намного сложнее хозяйства любого даже самого большого города, и последствия ошибок в работе его генома бывают весьма печальны. Изучение взаимодействия элементов генома в пробирке или их моделирование в компьютере — необходимые этапы изучения генома человека, но их явно недостаточно. Много определяется непосредственно в клетке с невероятно сложной пространственной организацией ее генома, для понимания которой уже имеются эффективные инструменты. Хочется верить, что эту задачу удастся решить намного быстрее, чем это представляется возможным сегодня. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-04-48221.

Литература

1. Жданова Н.С. Нить Ариадны в генетике // Природа. 2007. №6. С.18—25.
2. Рубцов Н.Б. Методы работы с хромосомами млекопитающих. Новосибирск, 2006.
3. Cremer T., Cremer C. // Nat. Rev. Genet. 2001. V.2. P.292—301.
4. Cremer T., Kreth G., Koester H. et al. // Crit. Rev. Eukaryot Gene Expr. 2000. V.10. №2. P.179—212.
5. Chakalova L., Debrand E., Mitchell J.A. // Nat. Rev. Genet. 2005. V.6. P.669—677.
6. Meaburn K.J., Misteli T. // Nature. 2007. V.445. P.379—381.
7. Maby N.L. et al. // J. Cell. Biol. 2002. V.159. №5. P.753—763.



Современная рентгенография минералов

Д.Ю.Пущаровский, Н.В.Зубкова

Родоначальник российской школы рентгеноструктурного анализа кристаллов академик Н.В.Белов считал, что положение структурной кристаллографии среди других наук можно охарактеризовать центром треугольника, в вершинах которого находятся физика, химия и минералогия. Именно в кристаллографии в полной мере проявляется синтез достижений, отмечаемых во всех трех указанных дисциплинах. Чем выше уровень научных исследований, тем прочнее связь между концепциями и утверждениями этих наук, а также используемыми в них методами.

Современный рентгеноструктурный анализ стал мощным инструментом изучения структуры веществ, открывающим много интересных фактов и позволяющим по-новому взглянуть на ряд природных явлений. Общее число расшифрованных к концу 1990-х годов структур превысило 300 тыс., а ежегодно структурно исследуется свыше 9 тыс. природных и синтетических соединений. Основа этих результатов тесно связана с открытием В.К.Рентгеном нового вида электромагнитного излучения, 110-ю годовщину которого научная общественность отметила в ноябре 2005 г. За прошедшие десятилетия открытие рентгеновских



Дмитрий Юрьевич Пущаровский, член-корреспондент РАН, профессор кафедры кристаллографии и кристаллохимии и декан геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Заслуженный деятель науки РФ (2004). Область научных интересов — структурные принципы минералов, кристаллохимия, структурная кристаллография.



Наталья Витальевна Зубкова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент той же кафедры. Лауреат премии молодых ученых Европейской академии (2001). Научная деятельность связана с исследованием кристаллических структур минералов и синтетических соединений.

лучей способствовало прогрессу во многих областях естествознания, но использование рентгенографических методов в минералогии совершенно особым образом повлияло на развитие научных представлений о составе, строении и эволюции земных оболочек.

В России это научное направление, начиная с конца 30-х годов XX в., связано с именем академика Белова (рис.1) и его учеников. Современные возможности рентгенографии позволяют изучать кристаллические структуры монокристаллов размером несколько микрометров; минералов, вообще не образующих монокристаллов, и, наконец, структурных трансформаций минералов, фиксируемых в рентгеновских камерах с алмазными наковальнями и моделирующими состояние вещества в глубинных геосферах.

Исключительно интересная область в современных науках о Земле, где кристаллография неразрывно переплетается с геологи-



Рис.1. Академик Н.В.Белов на лекции в аудитории 415 геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. 1966 г.

ей, связана с открытием новых минералов. Именно эти исследования в последние годы содействовали расширению научных представлений о формах концентрации химических элементов в земной коре, о систематике минералов, параметрах, контролирующих формирование конкретных структурных типов.

Открытию новых минералов способствует совершенствование техники рентгеновских экспериментов. Как известно, в природе установлено около 4 тыс. минералов, и это число ежегодно увеличивается на 50–60 минеральных видов. При этом 80% минералов рассматриваются как редкие, а 50% характеризуется весьма оригинальными структурами. Вместе с тем около 20% минералов остаются структурно не исследованными из-за малых размеров или несовершенства образцов ими кристаллов. И здесь в последние годы отмечен значительный прогресс благодаря использованию синхротронного излучения.

Около 90 лет назад, во время так называемой «брэгговской» эры, для первых структурных определений галита и алмаза использовались кристаллы размерами от 1 см до нескольких миллиметров. В 1920–1930-е годы (эра У.Тэйлора и Л.Поллинга) исследователи перешли к изучению кристаллов размерами менее 1 мм, что оказалось возможным благодаря изобретению трубок с «горячим» катодом. В дальнейшем, начиная с 1960 г., прогресс в развитии программного обеспечения в сочетании с использованием более мощных рентгеновских аппаратов позволил сократить размер исследуемых кристаллов до сотых долей миллиметра. Наконец, с 1970 г. мы являемся свидетелями исключительного расширения возможностей рентгеновского эксперимента, связанного с использованием мощного синхротронного излучения, позволяющего уже сейчас исследовать кристаллы, размеры которых измеряются тысячными долями миллиметра.

Структурные исследования с помощью синхротрона

Совсем недавно использование синхротронного излучения позволило расшифровать структуру раита — силиката со сложным составом $\text{Na}_3\text{Mn}_3\text{Ti}_{0,25}[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH})_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ [1]. Этот гидратированный Na, Mn-силикат был открыт в 1973 г. в перматитовой жиле Юбилейная, в пределах Ловозерского щелочного массива на Кольском п-ове. Название минералу дано в честь международной экспедиции, возглавлявшейся норвежским путешественником Т.Хейердалом на плоту «Ра». Структурное исследование выполнено на игольчатом кристалле раита диаметром $\sim 0,003$ мм (диаметр человеческого волоса $\sim 0,06$ мм!). Сотрудничество с группой кристаллографов из Университета Чикаго (США) во главе с профессором Дж.Смитом позволило провести сбор экспериментальных данных в Европейском центре синхротронных исследований (Гренобль, Франция), где в настоящее время работают ученые из 18 стран. Подобные исследования получают все больший размах, и сейчас в 23 странах уже имеются или рассматриваются проекты создания 75 синхротронных источников.

Дифракционная картина раита зарегистрирована при 73 разных ориентациях кристалла с помощью позиционно-чувствительного детектора. Основу структуры раита составляет каркас из кремнекислородных слоев, контактирующих с лентами из Mn- и Na-октаэдров (рис.2). Туннели образующегося каркаса частично заселены Na-октаэдрами. Тетраэдрические кремнекислородные слои характеризуются так называемой инверсией, проявляющейся в смене ориентации у тетраэдров в соседних выделяющихся в слое лентах. Такая

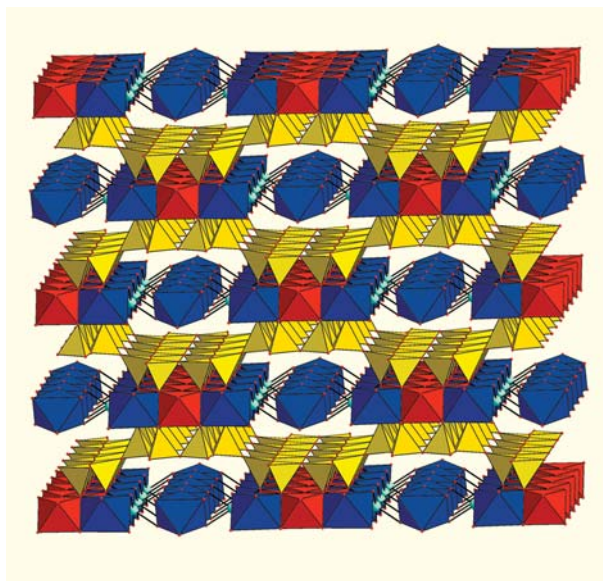


Рис.2. Кристаллическая структура раита.

смена ориентации тетраэдров в кремнекислородных слоях раита осуществляется через две цепочки, параллельные оси *c*. Подобные тетраэдрические слои ранее установили в структуре палыгорскита $Mg_5[Si_8O_{20}](OH)_2 \cdot 8H_2O$, тогда как в слоях другого водного Mg-силиката — сепиолита $Mg_8[Si_{12}O_{30}](OH)_4 \cdot 12H_2O$ — смена ориентации в тетраэдрических слоях осуществляется через три цепочки. Структура раита может служить иллюстрацией новых кристаллохимических концепций. В 1997 г. практически одновременно с опубликованием структуры раита группа исследователей во главе с профессором Дж.Феррарисом (Университет Турина, Италия) предложила структурную модель нового щелочного силиката — калиферсита $K_3Fe^{3+}[Si_{20}O_{50}](OH)_6 \cdot 12H_2O$, — открытого также на Кольском п-ове. Чрезвычайно интересным представляется чередование в этой структуре блоков (модулей) раита-палыгорскита и сепиолита. Это кристаллохимическое явление, предполагающее рассмотрение структурных серий в виде сочетания в разных отношениях однотипных блоков, получило название полисоматизм и в последние годы все чаще выявляется при исследовании структур минералов. Таким образом, если обозначить структурные модули палыгорскита символом (P), а сепиолита — (S), то построенная из них структуры калиферсита соответствует символу P₃S₁. Этот минералогический ряд может служить иллюстрацией нового подхода к анализу кристаллических структур, предполагающего рассмотрение их модулярных аспектов и позволяющего расширить теоретические основы для структурной систематики минералов и предсказания еще неисследованных структурных типов.

В качестве другого примера успешного использования синхротронного излучения приведем структуры трех арсенатов, недавно открытых в зонах окисления полиметаллического месторождения Кап-Гарон. Один из них — тилмансит $Ag_3Hg(V,As)O_4$, структура которого содержит два типа тетраэдров: $[V,AsO_4]$ и металлические тетраэдрические кластеры, образованные атомами серебра и ртути (рис.3). При этом атомы серебра и ртути находятся в низковалентном состоянии, определяя суммарный заряд тетраэдрического кластера, равный +3 [2].

Относительно низкозарядные группировки из атомов ртути известны в 20 из 100 минералов, содержащих этот элемент. В них установлены димеры и треугольники, однако тетраэдры из атомов металла выявлены впервые. Согласно дифракционным данным, серебро и ртуть статистически замещают друг друга, что подтверждается сравнением межатомных расстояний, соответствующих промежуточным между Ag-O и Hg-O значениям. Возможность образования подобных кластеров была недавно экспериментально подтверждена исследователями, синтезировавшими аналог тилмансита [3], а также химически близкие соедине-

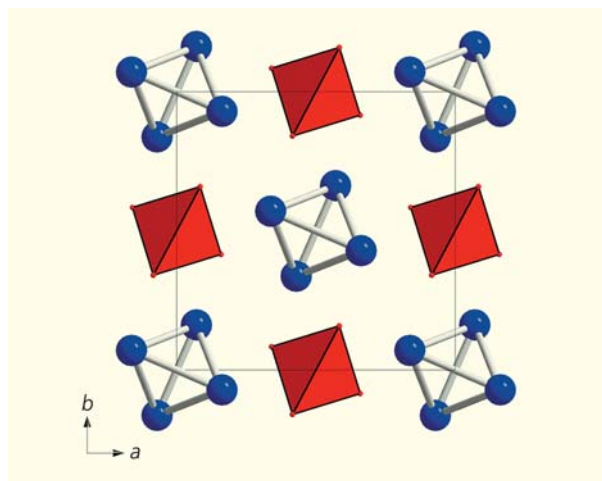


Рис.3. Кристаллическая структура тилмансита в проекции *xy*. Красным цветом показаны тетраэдры $[V,AsO_4]$; шариками — позиции атомов Ag и Hg.

ния $(Ag_2Hg_2)_3(VO_4)_4$ и $(Ag_2Hg_2)_2(HgO_2)(AsO_4)_2$, структуры которых содержат кластеры Ag_2Hg_2 .

Два других арсената были открыты во Французских Альпах уже около 10 лет назад, но их структуры удалось определить с помощью синхротронного излучения лишь в 2004 г. Тонкопластинчатые кристаллы зденекита — Na,Pb-арсената — образуют сростания, представляющие главную сложность для рентгеноструктурного анализа [4]. Такая же проблема возникает при исследовании другого медного арсената — манертита [5].

На рис.4,*a* изображена конституция основного структурного элемента зденекита — полиэдрических слоев, в которых выделяются крестообразные кластеры из четырех медных полиэдров, соединенных ребрами. Связь между соседними кластерами осуществляют As-тетраэдры. Их свободные вершины служат посадочными площадками, на которых фиксируются основания дополнительных Si-пирамид. Структура псевдотригональная, а ее истинная симметрия — моноклиная. При этом соседние слои сдвинуты по отношению друг к другу, и между ними нет непосредственного контакта (рис.4,*б*).

Этим структура зденекита отличается от химически близкого манертита. Слои правильной тетрагональной симметрии манертита изображены на рис.5,*a*. Главное его отличие от зденекита — в непосредственном контакте Si-пирамид благодаря зеркальной плоскости, проходящей через их концевые вершины. В полостях структуры расположены молекулы воды, а также атомы Ca и Na (рис.5,*б*).

Завершая этот раздел, отметим, что структуры новых минералов в ряде случаев служат матрицами кристаллов, обладающих различными важными технологическими свойствами. Среди них —

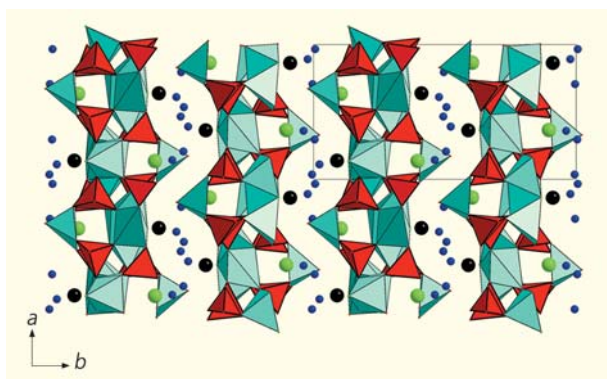
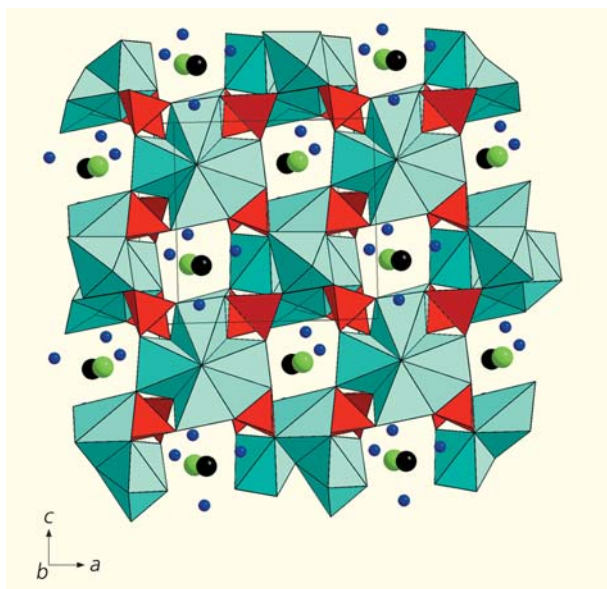


Рис.4. Кристаллическая структура зденекита. Красным цветом показаны тетраэдры $[AsO_4]$, серо-зеленым — полиэдры Cu.

цеолиты и структуры со смешанными каркасами, построенными из октаэдров и тетраэдров, для которых характерны ионно-обменные, ионно-проводящие и каталитические свойства. Дальнейшие исследования в этом направлении позволят получить новые материалы с необычными и перспективными свойствами.

Минералы глубинных геосфер. Взгляд в прошлое

Мы все знаем, что без прошлого нет будущего. Если оглянуться на 30–50 лет назад, то следует признать, что одна из наиболее интригующих проблем геологии в последние десятилетия связана с изучением состава и строения земных оболочек. Это направление в науках о Земле относится к числу приоритетных, поскольку более 90% вещества Земли находится под давлением, превышающим 1 ГПа. Диапазон давлений во Вселенной огромен — их величины изменяются на 60 порядков. В межгалактическом пространстве в 1 см^3 содержится менее 1 атома, тогда как в центре нейтронных звезд плотность приближается к 100 г/см^3 .

Минералогия высоких давлений — междисциплинарная область современной науки, активно развивающаяся в течение последних 70 лет. Впервые английским кристаллографом Дж.Берналом было высказано предположение о том, что в мантии обычный оливин становится устойчив в виде полиморфной модификации со структурой шпинели, плотность которой на 9% выше. Этот переход лег в основу минералогической интерпретации изменения скоростей сейсмических волн на глубине 400 км, т.е. на границе верхняя мантия—переходная зона. Сформулированный

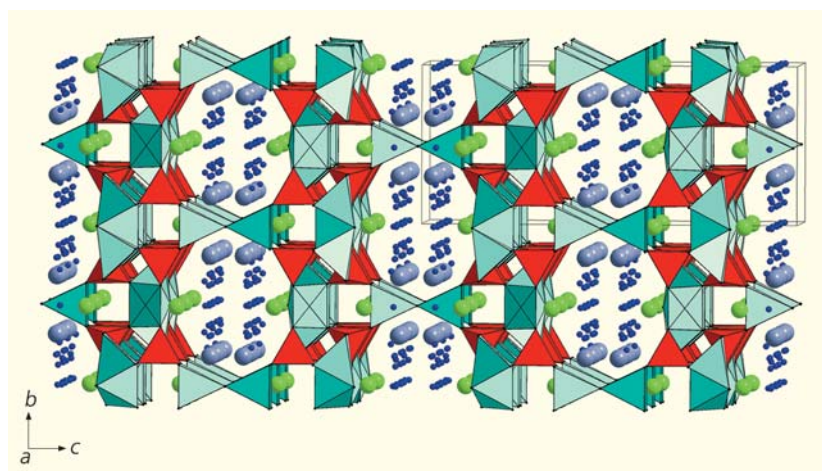
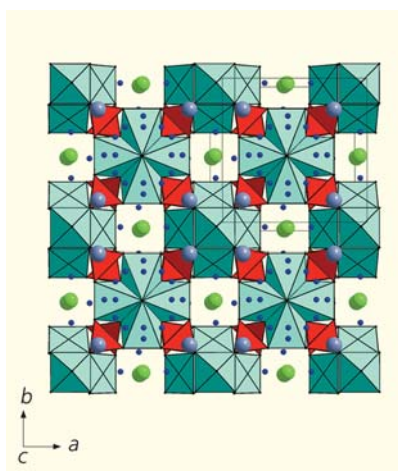


Рис.5. Кристаллическая структура манертита. Красным цветом показаны тетраэдры $[AsO_4]$, серо-зеленым — полиэдры Cu, образующие трехмерный каркас. Атомы Cu, показанные крупными светло-зелеными шариками, входят в пустоты каркаса с частичной заселенностью.

Берналом вывод основывался на предшествовавших заключениях В.М.Гольдшмидта о диморфизме химически близкого оливины германата Mg_2GeO_4 , кристаллизующегося в структурных типах оливина или шпинели. Несколько позже Ф.Берч на основе исследования упругих характеристик мантийного вещества также пришел к выводу, что глубинная зона, заключенная между 300 и 900 км, характеризуется серией фазовых превращений, одним из которых должна быть трансформация оливина в модификацию со структурой шпинели.

В последовавших за этим исследованиях в области кристаллохимии высоких давлений и минералогии глубинных геосфер период с начала 50-х и до середины 60-х годов XX в. принято называть «поисковым». В 1953 г. появилось сообщение Л.Коэса о синтезе при давлении 3 ГПа новой модификации кремнезема, впоследствии названной коэситом. В 1954 г. в компании Дженера Электрик при давлении 5 ГПа были получены кристаллы синтетического алмаза. Оба минерала теперь рассматриваются как индикаторы высокобарического метаморфизма, указывая на связь вмещающих их пород с глубинами, соответствующими верхней мантии.

Развивая идеи, высказанные Гольдшмидтом и Берналом, А.Е.Рингвуд в 1959 г. описал трансформацию фаялита (Fe_2SiO_4) под действием высокого давления в полиморфную модификацию со структурой шпинели, названную в его честь рингвудитом. Вслед за этим, в 1961 г., аспирант геологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова С.М.Стишов и сотрудница Института физики высоких давлений РАН С.В.Попова синтезировали при давлении более 8 ГПа новую плотную модификацию кремнезема со структурой рутила, получившую название стишовит. Это открытие показало, что обычные породы земной коры должны полностью отличаться по своему минеральному составу от пород, слагающих переходную между верхней и нижней мантией зону.

По сравнению с мантией проблема минерального состава земного ядра выглядит значительно сложнее. В отличие от многих глубинных силикатов и алмаза, устойчивых и при комнатных условиях, плотные модификации железа (которые по своей плотности и упругим свойствам должны быть близки к веществу ядра) можно исследовать только непосредственно под воздействием высоких давлений. В 1964 г. Т.Такахаша и У.А.Бассет описали ϵ -форму железа, оказавшуюся устойчивой при давлении выше 13 ГПа. В основе ее структуры — гексагональная плотнейшая упаковка атомов железа. Предполагается, что именно эта фаза — главный компонент ядра Земли.

Последовавшее за этим значительное усовершенствование техники экспериментов способствовало изучению при высоких давлениях широкого спектра физических и химических свойств большой группы минералов. В сочетании с дан-

ными сейсмотомографии эти результаты привели к пересмотру традиционной модели строения Земли и к постановке многих новых вопросов, таких как «происходит ли изменение состава на границе между верхней и нижней мантией?» или «какая температура достигается внутри ядра?». Развитие научных представлений в этой области позволило уже теперь высказать некоторые соображения и о веществе, слагающем глубинные геосферы других планет. Предполагается, что эквивалентом верхней и нижней мантии в недрах гигантских планет могут служить плотные газовые (состоящие из водорода и инертных газов, как Сатурн и Юпитер) или ледяные (содержащие H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 , как Уран и Нептун) оболочки. При этом оказалось, что в условиях высоких давлений инертные газы не всегда инертны и способны образовывать соединения — $He(N_2)_{11}$, $NeHe_2$, $Ar(H_2)_2$ и др. Поразительно, что при высоких давлениях (>30 ГПа) аргон и ксенон оказываются в кристаллическом состоянии при более высоких температурах, чем железо, которое начинает плавиться раньше. Это означает, что при высоких давлениях железо может играть роль летучего компонента, а аргон и ксенон — огнеупоров. Не менее удивительно, что обычно изоморфные в минералах земной коры железо и магний диссоциируют в структурах глубинных минералов. Наоборот, несовместимые в структурах минералов земной коры железо и калий под влиянием высоких давлений способны образовывать сплавы.

Подобного рода данные свидетельствуют о том, что минералы земной коры и глубинных геосфер существенно различаются по своим свойствам и структурам. Однако при изучении новых результатов, связанных с минералогией высоких давлений, нужно иметь в виду важное обстоятельство. Большинство заключений, связанных с решением этой исключительно сложной проблемы, делается на основе уникальных экспериментов, которые можно осуществить лишь в небольшом числе передовых лабораторий. Один из основателей современной минералогии глубинных геосфер Ф.Берч подчеркивал, что неосведомленный читатель должен понимать неоднозначность получаемых при этом выводов. С некоторой иронией он приводил примеры терминологических эквивалентов, характерных для публикаций, связанных со сложными высокобарическими экспериментами, и как их следует воспринимать на уровне стандартов, применимых к обычным исследованиям. В частности, писал Берч, — то, что в обычных публикациях рассматривается как «возможное заключение», в статьях с результатами высокобарических исследований считается «несомненным». Точно так же вместо наречия «неоднозначно» будет использоваться прилагательное «определенный», а словосочетание «смесь всех элементов» в ядре Земли заменится на «чистое железо».

Что происходит в глубинах Земли?

Проблема прогноза состояния вещества в глубинных геосферах необычайно сложна — сложнее, чем исследование космоса, поскольку прямые данные о веществе глубинных зон весьма скудны. На протяжении последних лет особое внимание привлекал минеральный агрегат из кимберлитовой трубки Лесото (Южная Африка), который рассматривался как представитель мантийных пород, залегающих на глубине ~250 км. Однако в декабре 1999 г. появилось сообщение о находке образца на о.Малаит (юго-восточная часть Тихого океана), который связан с породами нижней мантии, с глубинами 770 км. Интересно, что в этом образце установлены кристаллы алмаза и мейджорита — Mg,Fe-граната с необычной шестерной координацией Si. Керн, поднятый из самой глубокой в мире скважины, пробуренной на Кольском п-ове и достигшей отметки 12262 м, существенно расширил научные представления о глубинных горизонтах земной коры. Но все же нужно признать, что относительно размеров Земли затронута лишь тонкая «скорлупа» земной коры. Несмотря на эти в целом ограниченные данные о глубинных минеральных ассоциациях, эксперименты в рентгеновских камерах с алмазными наковальнями уже сейчас позволяют смоделировать многие особенности строения и состава глубинных оболочек Земли, а также

процессов, происходящих в них. При этом выявляются удивительные трансформации в минералах и материалах, сопровождающиеся драматическими изменениями их свойств.

На рис.6,а изображена ставшая традиционной модель строения Земли, разработанная на основе анализа распространения сейсмических волн. Первая граница, разделяющая земную кору и мантию, была установлена в 1909 г. хорватским сейсмологом Мохоровичичем. Затем в середине 50-х годов к этому рубежу добавились границы, разделяющие верхнюю и нижнюю мантию, а также внешнее и внутреннее ядра. Следующая картина воспроизводит стандартный сейсмопрофиль. Многие фиксируемые в глубинных геосферах скачки в скоростях сейсмических волн коррелируют со структурными перестройками мантийных минералов. Например, граница «410 км» связана со структурной перестройкой оливин—вадслеит, а рубеж «520 км» — с последующей трансформацией вадслеита в шпинелеподобный рингвудит. В целом, как показано на рисунке, относительно гомогенная концентрическая оболочка, ограниченная глубинами 400 и 600 км, преимущественно содержит фазы со структурами типа граната и шпинели. Эта ассоциация минералов ниже глобальной границы «670 км» замещается перовскитоподобными фазами, на долю которых приходится около 70% объема нижней мантии; Mg-стиштитом (20%) со структурой типа NaCl, а также с твердым раствором корунда и ильменита; и, наконец, карнегитом NaAlSiO_4 , являющимся структурным аналогом Ca-феррита CaFe_2O_4 . Упомянутые границы на глубинах 410, 520 и 670 км большинством исследователей рассматриваются как глобальные. Последние данные сейсмотомографии и результаты кристаллохимических исследований при высоких давлениях выявили ряд новых рубежей такого рода на глубинах 900, 1700 км и др., что позволило пересмотреть традиционную модель строения глубинных геосфер и предложить альтернативную модель [б]. Ее ключевое положение — выделение между уровнями 840–1700 км средней мантии (рис.6,б), отделенной от верхней и нижней зонами раздела мощностью соответственно 170 и 500 км, — постепенно завоевывает все большее признание. Анализу структурных перестроек мантийных минералов в последнее время посвящено значительное число публикаций. Вместе с тем с каждым годом увеличивается массив экспериментальных и теоретических результатов, расширяющих представления о минералогическом разнообразии глубинных геосфер. Рассмотрим лишь самые последние данные, дающие представления об экспериментальных и теоретических возможностях исследований и значении полученных результатов.

С давлениями, соответствующими средней мантии, связаны недавно установленные струк-

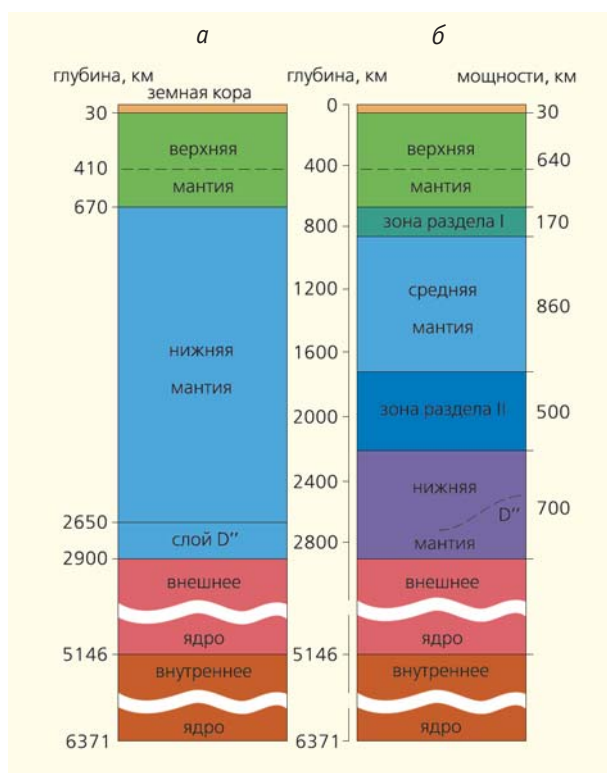


Рис.6. Традиционная (а) и альтернативная (б) модели строения глубинных геосфер.

турные трансформации важнейших карбонатов, которые, по-видимому, являются главными минералами углерода в мантии. Наиболее распространенные карбонаты в земной коре — магнезит, кальцит и доломит. Н.Росс и Г.Фике обосновали устойчивость магнезита по крайней мере до 80 ГПа, что соответствует глубинам ~1900 км.

Трансформация кальцита в арагонит происходит в верхней мантии. Там же доломит распадается на магнезит и арагонит. В особенностях этих минералов на глубинах, больших 1000 км, до последнего времени оставалось много вопросов. М.Исшики с коллегами отмечали фазовый переход магнезита при давлениях, превышающих 110 ГПа, но экспериментальные данные были недостаточны для определения структуры новой формы $MgCO_3$. Несколько позже обнаружилось, что выше ~40 ГПа арагонит ($CaCO_3$) трансформируется в новую фазу. Но ее структура не могла быть решена ни экспериментально, ни с привлечением стандартных методов теоретического моделирования. А.Р.Оганов и К.В.Гласс недавно разработали новый метод моделирования, позволяющий предсказывать кристаллическую структуру при любом заданном давлении исключительно на основе представлений о химическом составе. Этот подход с успехом использовался для определения постаргонитовой фазы $CaCO_3$. Полученная структура, принадлежащая к новому структурному типу, объясняет все экспериментально измеренные характеристики новой фазы (порошковую дифракционную картину, сжимаемость и поле устойчивости). Структуры кальцита, арагонита и новой постаргонитовой фазы показаны на рис.7. Координационное число Ca в арагоните, равное 9, возрастает до 12 в постаргонитовой фазе. Согласно расчетам, при 137 ГПа должен произойти следующий переход постаргонитовой фазы в другую модификацию со структурным типом, близким к структурам пироксенов (рис.7,з), который характеризуется пространственной группой $C222_1$, наличием цепочек из CO_4 -тетраэдров и достаточно высоким координационным числом атомов Ca, равным 10. Такая же структура возможна и для высокобарической формы $MgCO_3$, хотя другие варианты атомного распределения в карбонате магния при этих давлениях исключить пока нельзя.

Таким образом, в пределах мантии возможны различные трансформации минералов. Этот вывод способствовал пониманию того, что нижняя мантия не столь гомогенна, как считалось совсем недавно. Конечно, минералогическое разнообразие глубинных оболочек существенно меньше по сравнению с земной корой. Однако новые данные убеждают, что мантийная минералогия совсем не так примитивна, как допускалось еще два-три десятилетия назад. Современные экспериментальные возможности позволяют моделировать минеральные изменения, происходящие на глубинах,

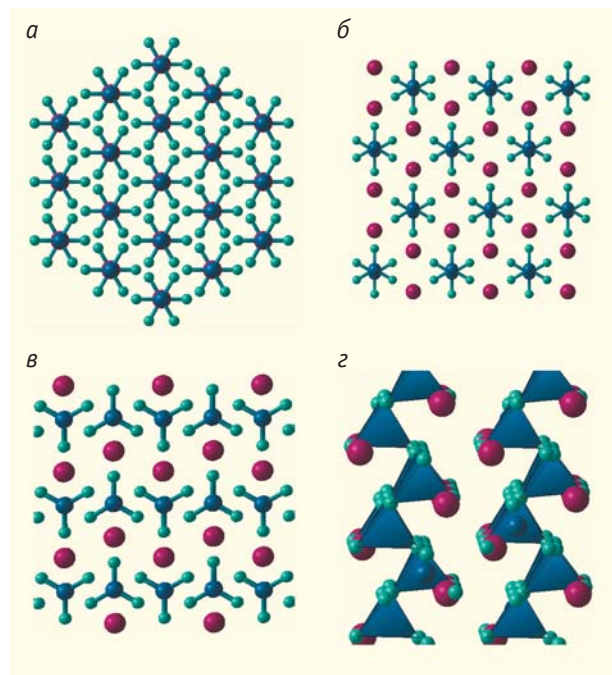


Рис.7. Структура кальцита (а), арагонита (б), постаргонитовой фазы, устойчивой выше 42 ГПа (в), и пироксеноподобной формы $CaCO_3$, образующейся при давлении выше 137 ГПа (г). Большие шары — атомы Ca, средние — С, маленькие — О [2].

соответствующих границе мантия—ядро и даже в самом ядре. Но следует признать, что пока здесь больше вопросов, чем ответов.

Австралийский сейсмолог К.Е.Буллен, предложивший в начале 40-х годов XX в. схему разделения Земли на зоны, выделил внутри нижней мантии зону D' (984—2700 км), а на границе мантии и ядра — D'' (2700 — 2900 км). Сейчас эта схема значительно видоизменена, и лишь слой D'' широко используется в литературе. Его главная характеристика — уменьшение градиентов сейсмических скоростей по сравнению с вышележащей областью мантии.

Наиболее неожиданным стал результат квантово-механических расчетов и прямых экспериментов, связанных с зоной D'' [8]. Был обоснован переход перовскитовой фазы $MgSiO_3$ в структуру типа $CaIrO_3$ при давлениях 125—127 ГПа и температурах 2500—3000 К, соответствующих глубинам 2700—2740 км, т.е. верхней границе слоя D'' (рис.8). Новая фаза, часто называемая постперовскитовой, плотнее перовскита на 1.2%. При этом $MgSiO_3$ со структурным типом $CaIrO_3$ — основной минерал слоя D'' , охватывающего глубины 2700—2890 км. К тем же заключениям на основе проведенных экспериментов независимо и практически одновременно пришли и другие группы ученых [9]. Следует отметить, что идея о возможности кристаллизации в данном структурном типе

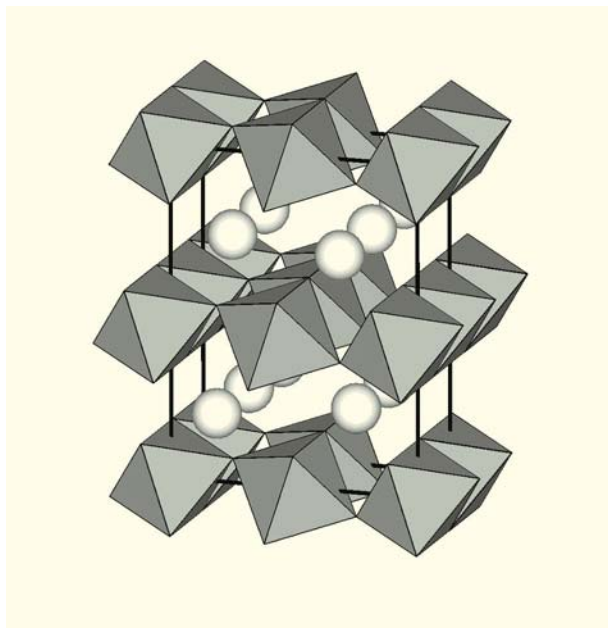


Рис.8. Структура постперовскитовой модификации MgSiO_3 . Между слоями из Si-октаэдров расположены атомы Mg.

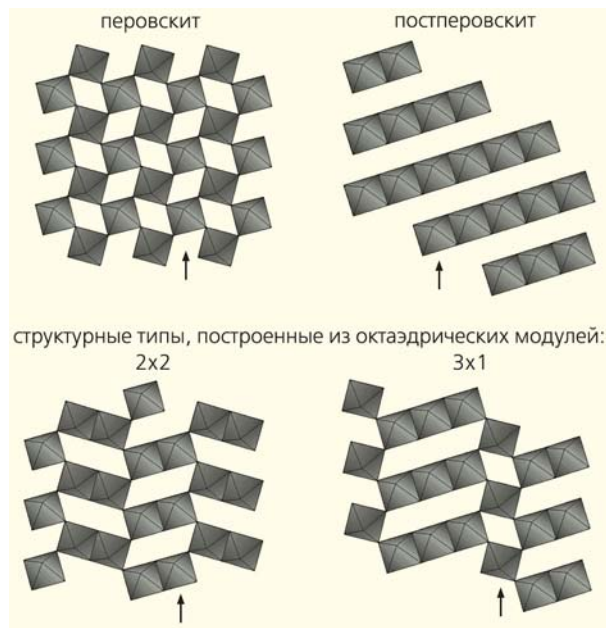


Рис.9. Политипы MgSiO_3 . Выделены октаэдрические мотивы (атомы Mg не показаны). Стрелки указывают вероятные сдвиги при пластических деформациях.

минералов, присущих границе мантия—ядро, была высказана С.Оно с коллегами [10] на основе экспериментов по сжатию Fe_2O_3 . При давлении 30 ГПа $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит) трансформируется в перовскитоподобную модификацию, а при дальнейшем сжатии выше 50 ГПа фаза приобретает постперовскитовую структуру [8, 11].

А.Оганов с соавторами [12] показали, что перовскитовая и постперовскитовая формы MgSiO_3 являются крайними членами политипной серии структур (рис.9). Промежуточные структуры этой серии метастабильны при $T = 0$ К, но поскольку их энтальпии лишь ненамного выше, чем у перовскита и постперовскита, они могут стабилизироваться примесями и температурными эффектами, что

вполне позволяет допустить их присутствие в нижней мантии и слое D' в качестве второстепенных минералов. Более того, такие промежуточные структуры соответствуют нарушениям атомной упаковки в основных мотивах перовскита и постперовскита и могут возникать при их пластических деформациях.

Мы рассмотрели лишь некоторые новые возможности рентгенографии, которые способствуют решению важных современных геологических проблем. Можно надеяться, что результаты подобных исследований в сочетании с петрологическими, минералого-геохимическими и данными других наук расширят фундаментальные представления в этой области естествознания. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 06-05-64024 и НШ-4964.2006.5.

Литература

1. *Pluth J., Smith J., Pushcharovsky D.Yu. et al.* // Proc. Nat. Acad. Sci. 1997. V.94. P.12263—12267.
2. *Sarp H., Pushcharovsky D.Yu., MacLean E.J. et al.* // Eur. J. Mineral. 2003. V.15. P.177—180.
3. *Weil M., Tillmanns E., Pushcharovsky D.Yu.* // Inorg. Chem. 2005. V.44. P.1443—1451.
4. *Зубкова Н.В., Пуцаровский Д.Ю., Сапн Х. и др.* // Кристаллография. 2003. Т.48. №6. С.1006—1011.
5. *Pushcharovsky D.Yu., Zubkova N.V., Teat S.J. et al.* // Eur. J. Mineral. 2004. V.16. P.687—692.
6. *Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю.* // Геотектоника. 1999. №1. С.3—14.
7. *Oganov A.R., Glass C.W., Ono S.* // Earth Planet. Sci. Lett. 2006. V.241. P.95.
8. *Oganov A.R., Ono S.* // Nature. 2004. V.430. P.445—448.
9. *Murakami M., Hirose K., Kawamura K. et al.* // Science. 2004. V.304. № 5672. P.855—858.
10. *Ono S., Kikegawa T., Obishi Y.* // J. of Physics and Chem. of Solids. 2004. V.65. P.1527—1530.
11. *Ono S., Funakoshi K., Obishi Y., Takahashi E.* // J. Phys.: Condens. Matter. 2005. V.17. P.269—276.
12. *Oganov A.R., Martonák R., Laio A. et al.* // Nature. 2005. V.438. P.1142—1144.

Глобусы: второе рождение

А.М.Берлянт

Научные и практические проблемы сегодняшнего дня часто носят планетарный характер. Это глобальные изменения климата и глобальное потепление, глобальные конфликты и глобальные геополитические интересы, единое информационное пространство и геотелекоммуникация. Неслучайно к названиям многих отраслей науки добавили прилагательное «глобальная»: глобальная тектоника, глобальная экология, глобальная экономика и т.д.

Вполне естественно, что возрос интерес к методам и средствам отображения планеты в целом. Картография давно располагала таким средством — глобусом, шаровидной моделью Земли. Благодаря геометрическому сходству с планетой она не имеет себе равных среди других средств картографической визуализации. С глубокой древности глобус служил для навигации, фиксации новых открытий, изображения глобальных природных закономерностей, таких как климатическая зональность или перемещение материковых плит. Однако со временем многотомные атласы, подробные многолистные карты и космические геоизображения почти полностью заменили глобусы, потеснив их в залы музеев и школьные кабинеты. За ними осталась роль наглядного пособия по астрономии, географии, картографии, обладающего замечательными дидактическими свойствами.



Александр Михайлович Берлянт, доктор географических наук, профессор, заведующей кафедрой картографии и геоинформатики Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, заслуженный деятель науки Российской Федерации. Область научных интересов — картография, геоинформатика, теория геоизображений.

Постепенно положение изменилось. С развитием космонавтики глобусы «вышли на околоземную орбиту». Космические аппараты оснащены навигационными индикаторами в виде вращающихся глобусов — такой прибор очень удобен в малогабаритной кабине космонавта. Подлинный расцвет глобусного картографирования произошел на рубеже третьего тысячелетия в связи с появлением электронных виртуальных глобусов. Из школьных шкафов глобусы «перебрались» на экраны компьютеров, где они вращаются в любом направлении, меняя масштаб и тематическое покрытие по одному нажатию компьютерной мышки. Теперь не надо носить громоздкий деревянный или пластиковый шар, он транспортируется в памяти ноутбука или вызывается по каналам Интернета. Глобусы — яркий пример того, как древнее изобретение человечества обрело вторую жизнь на новом витке технологического прогресса.

Из истории создания глобусов

Первыми глобусами были, конечно же, глобусы звездного неба. Люди привыкли представлять небесный свод в виде опрокинутого над Землей купола, по которому плывут Солнце и Луна, другие светила и созвездия. Поэтому создание небесных глобусов оказалось вполне естественным в самые древние времена, и сферические изображения звездного неба были известны уже жрецам и астрономам Древнего Египта, торговцам Месопотамии, древним индийским и арабским мореходам.

Имеются свидетельства о первом небесном глобусе, изготовленном греческим астрономом Евдоксом Книдским (408—335 гг. до н. э.). В Неаполе сохранилась мраморная статуя Атланта (III в. до н.э.), держащего на плечах небесную сферу с изображением созвездий. Считается, что прообразом послужил именно глобус Евдокса.

© Берлянт А.М., 2007



Глобус Мартина Бехайма (1492) и памятник Бехайму в Нюрнберге.

В древнеримских исторических источниках есть сведения о механическом небесном глобусе великого греческого математика и инженера Архимеда (около 287–212 гг. до н.э.). По свидетельству историка картографии Л.Брауна, Архимед имел стеклянный звездный глобус, внутри которого был подвешен земной, и даже написал книгу «Об устройстве небесного глобуса», которая, увы, не сохранилась [1].

Небесные глобусы отражали собственные наблюдения человека, его, так сказать, конкретный опыт. Совсем другое дело — земные глобусы. Они стали отражением определенной концепции устройства Вселенной и появились после того, как стало ясно, что Земля — это шар, а не плоский диск. И лишь тогда, когда были сформированы начальные представления о математической основе карт, меридианах, параллелях, масштабе

и системе условных обозначений. Во всяком случае, первые земные глобусы стали этапом развития античной географии и картографии и накопления обширных знаний по астрономии и геодезии. В классически стройной и геометрически совершенной картине мироздания, созданной античными учеными, глобусы заняли заметное место благодаря своей простоте, особой красоте и целесообразности.

Во II в. до н.э. Эратосфен простым астрономо-геодезическим способом достаточно точно (с ошибкой менее 1%) определил длину окружности земного меридиана, а последователь Аристотеля географ и историк Страбон утверждал, что «мир шарообразен, равно как и небо, Земля имеет общий центр с небом и остается неподвижной, через нее проходит та же ось, около которой обращается и небо. Небо вращается около Земли

и около своей оси от востока к западу, а вместе с ним и неподвижные звезды» [2. Кн.II. 5, 2]. Считается, что в это время греческий философ Кратес с о.Малос изготовил первый земной глобус.

В период Средневековья интеллектуальные достижения Древней Греции и Рима, в том числе ее картографическое наследие, были забыты и во многом утрачены. К ним возвратились лишь в XV в., когда появилась необходимость отобразить в картографической форме новые знания о природе, о великих географических открытиях. В научный оборот вновь вошли труды античных ученых, прежде всего «География» Птолемея и его атлас. В XV в. их перевели на латинский и другие европейские языки, дополнили и многократно переиздали в странах Европы. Значение птолемеевского наследия трудно переоценить, оно надолго определило развитие мировой картографии.

В 1492 г. первый европейский глобус Земли современного типа — «Erdapfel», или «Земное яблоко», — изготовил астроном и космограф М.Бехайм (1459–1506) из Нюрнберга. На глобус он перенес содержание карт Птолемея, обновил их, пользуясь французскими, португальскими, итальянскими, арабскими и другими источниками. На глобусе диаметром 51 см были показаны экватор, разделенный на 360° (без цифровки), два тропика, арктический и антарктический полярные круги, а также один меридиан (80° к западу от Лиссабона). Бехайм готовил глобус как картографическое и художественное произведение, он привлек к работе художника Г.Хольшумера, который разместил на поверхности более ста цветных миниатюр, астрологических символы и художественно выполненные надписи. Эту традицию впоследствии развивали многие мастера. Глобусы и подставки к ним создавали из ценных пород дерева, украшали росписью, резьбой, мед-

ными деталями. Так, в дрезденском дворце Цвингер, в Математико-физическом салоне хранится одно из самых знаменитых таких художественных произведений — позолоченный глобус-часы небесной сферы и Земли, изготовленный Г.Роллем и И.Рейнгольдом в 1586 г.

Глобус Бехайма зафиксировал доколумбовы представления о земном шаре как раз накануне открытия Америки. На нем подробно представлен хорошо известный европейцам Старый Свет, но отсутствует Америка, а Атлантический океан простирается до берегов Восточной Азии.

Авторитетный историк картографии Л.Багров пишет: «Считалось, что этот глобус отразил космографические идеи, легшие в основу “индийского предприятия” Колумба еще до того, как он отплыл в 1492 г. в свою первую экспедицию. Совершенно невозможно, однако, чтобы Колумб мог когда-либо видеть этот глобус или встречаться с Бехаймом, поэтому более разумно предположить, что он видел прототип этого глобуса и сверялся с ним. Таким прототипом, по всей вероятности, была градуированная по долготе карта мира Мартелла, причем, возможно, печатная карта» [3. С.109—110].

Глобус, где был впервые изображен Новый Свет, всего через 15 лет изготовил другой немецкий картограф и издатель М.Вальдзеемюллер. В 1507 г. он перевел и опубликовал записки А.Веспуччи и свою Карту мира, специально составленную для глобуса в виде 12 меридианных полос. На ней Новый Свет назван Америкой, выделены Северный и Южный материка, а к западу от них также впервые показан Тихий океан. Карта для глобуса Вальдзеемюллера сохранилась, ее копия в 2007 г. продавалась на аукционе Кристи в Лондоне.

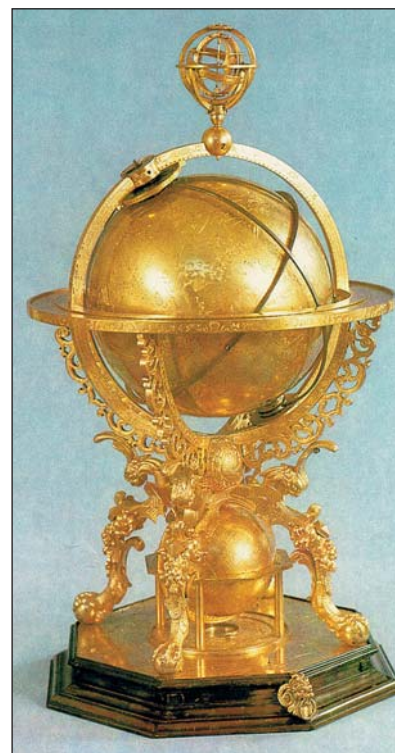
Следующей по времени вершиной в глобусном картографировании считают глобусы

«короля картографов», космографа и гравера Г.Меркатора (1512—1594). Его достижения хорошо известны, а имя увековечено в названии проекции, используемой для морских и аэронавигационных карт. Он первым употребил слово «атлас» (от имени легендарного мавританского царя Атласа), и этот термин получил универсальное применение в картографии. Памятник Меркатору, установленный на его родине в городе Рупельмонде в Восточной Фландрии (современная Бельгия), изображает его с глобусом в руке — Меркатор был еще и автором многих глобусов.

В 1535 г. он участвовал в подготовке глобуса, созданного профессором Лувенского университета Г.Фризиусом. Во время учебы в университете он создал еще два небольших глобуса — земной из дерева и небесный из стекла — и передал их королю Карлу V, сопроводив пояснительным текстом «Объяснение применения небесного и земного глобусов и астрономического кольца...».

Наиболее совершенный из своих глобусов Меркатор изготовил в 1541 г. Шар имел в диаметре 42 см и вращался вокруг вертикальной полярной оси, скрепленной с массивным медным кольцом, имевшим градусные деления. Само кольцо вместе с глобусом поворачивалось в горизонтальном круге подставки, также разделенном на градусы. Конструкция позволяла поворачивать глобус в любом направлении и удобно отсчитывать по нему углы и расстояния.

Одна особенность заметно выделяла глобус 1541 г. среди других подобных произведений [4]: на его поверхность была нанесена система линий — локсодромий, предназначенных для облегчения судовождения. Иначе говоря, Меркатор впервые попытался изготовить навигационный глобус. На нем он опробовал идею, которую воплотил развил на знаменитой карте мира 1569 г.



Глобус-часы Г.Роля и И.Рейнгольда (1586). Позолоченное сооружение высотой 62 см венчает астрономическая армиллярная сфера, ниже — небесный глобус, еще ниже — земной глобус [3].

В XVI—XVII вв. глобусы использовались на морских судах. Но по мере появления подробных крупномасштабных навигационных карт и атласов они потеряли значение для мореплавания и продолжали оставаться лишь незаменимым наглядным средством обучения в университетах и школах.

Говоря об истории создания глобусов, нельзя не упомянуть о глобусах-гигантах. Один из них — глобус-планетарий диаметром 3,1 м и весом 3,5 т — находится в Санкт-Петербурге в музее М.В.Ломоносова. Он был изготовлен известным европейским географом А.Олеарием (1599—1671) и мастером А.Бушем в 1650—1664 гг. для герцога Фридриха III Гольштинского и находился в его резиденции — в крепости Готторп близ г.Шлезвига.



Готторпский глобус-планетарий. Создан в 1713 г., восстановлен в 1747—1752 гг. [5]. Внизу — Северное и Южное полушария звездного неба.

Полый шар имел железный каркас с деревянной и медной обшивкой, его внутренняя и наружная поверхности были оклеены холстом и расписаны: снаружи — изображение земного глобуса, изнутри — звездное небо со всеми созвездиями. Глобус-планетарий вращался с помощью водяного колеса и гидравлического привода, совершая один оборот в сутки. Внутри шара вела четырехугольная сферическая дверь [5].

В 1713 г. герцог Карл-Фридрих подарил глобус Петру I, а в 1717 г. его доставили в Петербург и установили недалеко от Летнего дворца. В 1726 г. глобус переместили в здание Кунсткамеры, но при пожаре 1747 г. он сгорел. К счастью, в Академии

наук сохранилось полное описание глобуса, и под руководством Ломоносова его воссоздали и обновили. Поэтому иногда самый большой глобус-планетарий России называют глобусом Готторпа—Ломоносова [6]. Помимо внушительных размеров, этот уникальный памятник инженерного и картографического искусства отличается художественной ценностью и удачным совмещением географического и астрономического содержания.

Идея создания глобусов-гигантов не оставляет архитекторов и инженеров. В Италии сооружен 10-метровый вращающийся «Глобус Мира» весом 3,5 т, а в Нью-Йорке на Всемирной выставке 1964 г. демонстри-

ровался самый большой в мире глобус — Унисфера. Стальной шар диаметром 37 м весил более 400 т. Обозреть такой глобус неудобно, единственное его назначение — поразить воображение зрителя. Но с тех пор, как люди увидели снимки Земли из космоса, их трудно поразить гигантскими шарообразными сооружениями.

Тематические глобусы

Наиболее популярны глобусы физико-географические, геологические, политические, а также пластиковые глобусы с выпуклым изображением рельефа суши. Впрочем, как и на рельефных картах, озера, моря и океаны на них остаются абсолютно гладкими. В прошлом, когда о строении морского дна знали меньше, чем о поверхности Луны, это было оправданно, но теперь примитивизм рельефных глобусов объясняется только неповоротливостью картографического производства. Технически же формовка пластиковых глобусов, передающих рельеф морского дна, не является сложной задачей.

В России самый массовый спрос имеют пластиковые школьные глобусы, обычно масштаба 1:40 000 000 и мельче, передающие земной рельеф в традиционной и довольно скучной зелено-желто-коричневой гипсометрической шкале, а морские пространства — в голубой и синей. Подобные пластиковые шары с их безыскусным оформлением, не меняющимся уже многие десятилетия, далеки от возможностей современной картографии.

Значительно эффектнее ландшафтное оформление, когда поверхность Земли предстает как бы в том виде, как она видна из космоса при снятом облачном покрове: горы покрыты зелеными лесами, темно-зелеными тропическими гилеями или рыжевато-серыми тундровыми гольцами, пояс пустынь выделя-

ется серовато-желтой окраской, а арктические острова, горные снега и льды имеют голубовато-белый цвет. Шельфы окрашены нежно-синим цветом, а глубоководные океанические впадины — густыми темно-синими тонами. Такие глобусы можно считать своеобразными сферическими фотопортретами Земли. Наглядность еще более возрастает, когда пластиковую сферу делают рельефной со сравнительно умеренным преувеличением вертикального масштаба — не более чем в 10–15 раз.

Проблема вертикального масштаба на рельефном глобусе проста. Если принять, например, десятикратное его преувеличение относительно горизонтального (что обычно для профилей земной поверхности и блок-диаграмм), то на глобусе диаметром 31.6 см (1:40 000 000) большая часть России предстанет совсем плоской, Эльбрус будет иметь высоту всего 1.4 мм, Эверест — 2 мм, а Марианская впадина окажется еле заметным углублением — менее 3 мм. Глобус будет выглядеть не рельефным, а лишь слегка шероховатым.

Чтобы отразить основные неровности рельефа, приходится резко преувеличивать масштаб высот и глубин. Так, американская картографическая фирма «Rand McNally» создала шестифутовый (183 см) рельефный глобус океанического дна, на котором применена шкала, близкая к логарифмической [7]. Глубины до 500 м даны с 80-кратным преувеличением вертикального масштаба, с ростом глубины искажения уменьшаются и к 9000 м сходят на нет.

Этот глобус имел успех у потребителей, и в 2004 г. аналогичный подход применила фирма «Relief Globe Company» [1], разработавшая методику создания рельефных пластиковых глобусов по цифровым моделям. Из них наиболее примечателен большой земной глобус масштаба 1:28 000 000, диаметр которого на уровне моря составляет

46 см. Эта уникальная модель с 250-кратным преувеличением вертикального масштаба представляет собой голубой гладкий шар, на поверхности которого высятся материки и острова с горными массивами и остроконечными пиками вершин. База данных включает около 2 млн высотных отметок, а цифровая модель состоит из более чем 1.5 млн треугольников. Рельеф суши имеет традиционную зелено-желто-коричневую окраску, Гренландия и северные острова высятся белыми кусками льда. Благодаря резкому преувеличению высот земной шар выглядит совершенно непривычно, словно еж с торчащими во все стороны иглами — его и шаромто не назовешь.

Другой глобус, выпущенный той же фирмой, назван глобусом морского дна. На нем материки имеют золотисто-коричневый цвет и гладкую сферическую поверхность, Антарктида — сероголубая, а дно океанов — синее, с преувеличением масштаба глубин в 150 раз. Наглядно ощутима сложность строения подводного рельефа, резкое расчленение подводных хребтов, отвесность узких впадин, хаос подводных вулканов и т.п. Как и в первом случае, вид совершенно непривычен, планета напоминает изгрызенное яблоко.

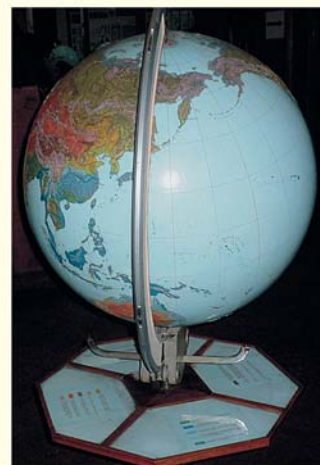
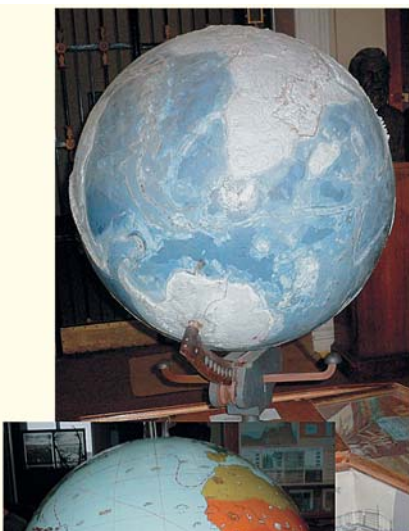
Глобусы со стократными преувеличениями вертикального масштаба не вращаются, как это принято, вокруг своих осей, они свободно уложены на подставках, их можно снять и повернуть, чтобы рассмотреть или сфотографировать в каком угодно ракурсе. Подобные модели задуманы как экспонаты и украшения для музеев, выставок и библиотек, изготовители рассчитывают именно на экстрагантность подобного представления планет. Во всяком случае, не заметить такие глобусы в музее, не обратить внимание на причудливый рельеф нельзя. С картографической точки зрения такое преувеличение масштаба вряд ли целесообразно. Изобра-

жения сильно анаморфированы и порой трудно узнаваемы, а любые измерения по ним крайне затруднены, не говоря уж об определении направлений или прокладке трасс.

Очень популярны геологические и геотектонические глобусы, отражающие строение и состав земной коры, распределение коренных пород и интрузивных тел, проявления вулканизма и т.д. Глобусы со сферическими накладками в форме литосферных плит довольно наглядно иллюстрирует процессы их раздвига, скольжения, столкновения, поддвига и другие особенности глобальной тектоники.

Серия из шести тематических глобусов природы в масштабе 1:20 000 000 (диаметр 62 см) представлена в Музее землеведения МГУ: геологический, рельефа суши и дна океанов, растительности, почвенного покрова, животного мира суши, ландшафтных зон. Глобусы установлены на высоких подставках, снабжены поворотными механизмами, они могут вращаться вокруг своей оси и внутри металлического меридионального круга, что удобно для обзора полярных областей. Серию отличает единообразное красочное оформление, хорошее тематическое согласование, наглядность способов изображения, единый уровень обобщения легенд, которые, кстати сказать, значительно генерализованы по сравнению с картами мира того же масштаба. Здесь проявляется одно из ограничений традиционных глобусов — неудобство размещения на них больших и подробных легенд, на музейных глобусах они помещены на подставках.

Съемки из космоса, в особенности с геостационарных метеоспутников, предоставили в распоряжение исследователей невиданное прежде изобилие материалов для глобального картографирования состояния атмосферы, климатических и метеорологических процессов и явле-



Тематические глобусы Земли в масштабе 1:20 000 000, представленные в Музее землеведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова: вверху — гипсометрический, ландшафтный, геоботанический; внизу — зоогеографический, почвенный.

Фото автора



Космический индикационный навигатор — часть пульта управления космического корабля [9].

ний. Были получены новые сведения о поступлении солнечной радиации, глобальной атмосферной циркуляции, распределении циклонических и антициклонических систем, особенностях и типах облачного покрова, выпадении осадков и т. д.

Интересен электронный глобус, отражающий взаимодействие океана и атмосферы [8]. На фоне синих океанов нанесены белые стрелки океанических течений, наглядно передающие картину устойчивых прямолинейных, циклонических и анти-

циклонических структур. Поверх них векторами желто-оранжевого цвета показана планетарная система воздушных течений над всем земным шаром, четко обозначены основные атмосферные циклоны и антициклоны, фронтальные зоны и т.п. Су-

перпозиция двух систем векторов наглядно передает сложную картину взаимодействия атмосферы и океана, двух планетарных динамических систем.

Виртуальные глобусы

Электронные модели значительно расширили свойства глобусов, сняли многие ограничения, связанные с их изготовлением и использованием, расширили сферу применения. Глобусы перестали быть громоздкими, малотранспортабельными и к тому же мелкомасштабными картографическими произведениями. Теперь они легко умещаются на компакт-диске, а любой их фрагмент можно увеличить на экране до среднего и даже крупного масштаба, все зависит только от наличия соответствующих баз данных. Глобусы программно управляемы, можно в интерактивном режиме не только менять масштаб изображения, но и переходить с одного уровня детальности на другой, т.е. выполнять многоуровневую генерализацию, что само по себе существенно для исследования структуры и иерархии планетарных геосистем. Нет ограничений на размер и дизайн легенды, ее размещают целиком или фрагментами на дисплее рядом с глобусом. Шар можно вращать не только вокруг земной оси, но и в любых других направлениях, интерактивно задаваемых пользователем, строить трехмерные и перспективные изображения рельефа местности и любых сооружений на ней, менять дизайн и т.п. Обеспечена возможность оперативного (практически мгновенного) изменения тематического содержания глобуса, все определяется только наличием соответствующих баз данных природного, социально-экономического, экологического наполнения. Как всякая знаковая картографическая модель, электронный глобус позволяет визуализировать не только реально существующие

объекты, но и абстрактные расчетные показатели [9].

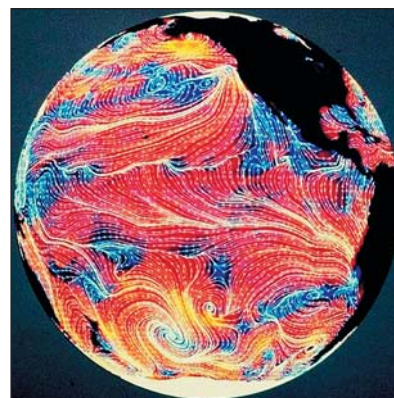
Можно вспомнить, что идею виртуального глобуса высказал еще М.А.Булгаков в романе «Мастер и Маргарита». Там описано, как Воланд показывает Маргарите глобус, «сделанный так искусно, что синие океаны на нем шевелились, а шапка на полюсе лежала, как настоящая, ледяная и снежная». Наклонившись к глобусу, Маргарита и увидела, что квадратик Земли расширился и превратился как бы в рельефную карту, а затем «домик, который был размером с горошину, разросся и стал как спичечная коробка...».

Сегодня фантастический булгаковский глобус почти точно реализован в компьютерных информационно-справочных картографических системах типа «Google Earth», «World Wind», «Encarta» и др. Иначе говоря, *в начале XXI в. картография совершила важный шаг в своем развитии: создана космофотокартографическая модель многомасштабной, мультигенерализованной глобальной электронно-справочной системы всей планеты Земля, допускающая дальнейшее ее наполнение и постоянное обновление* [10]. Это техническое достижение сравнимо с такими изобретениями, как телефонная и компьютерная сети, которые охватили всю планету.

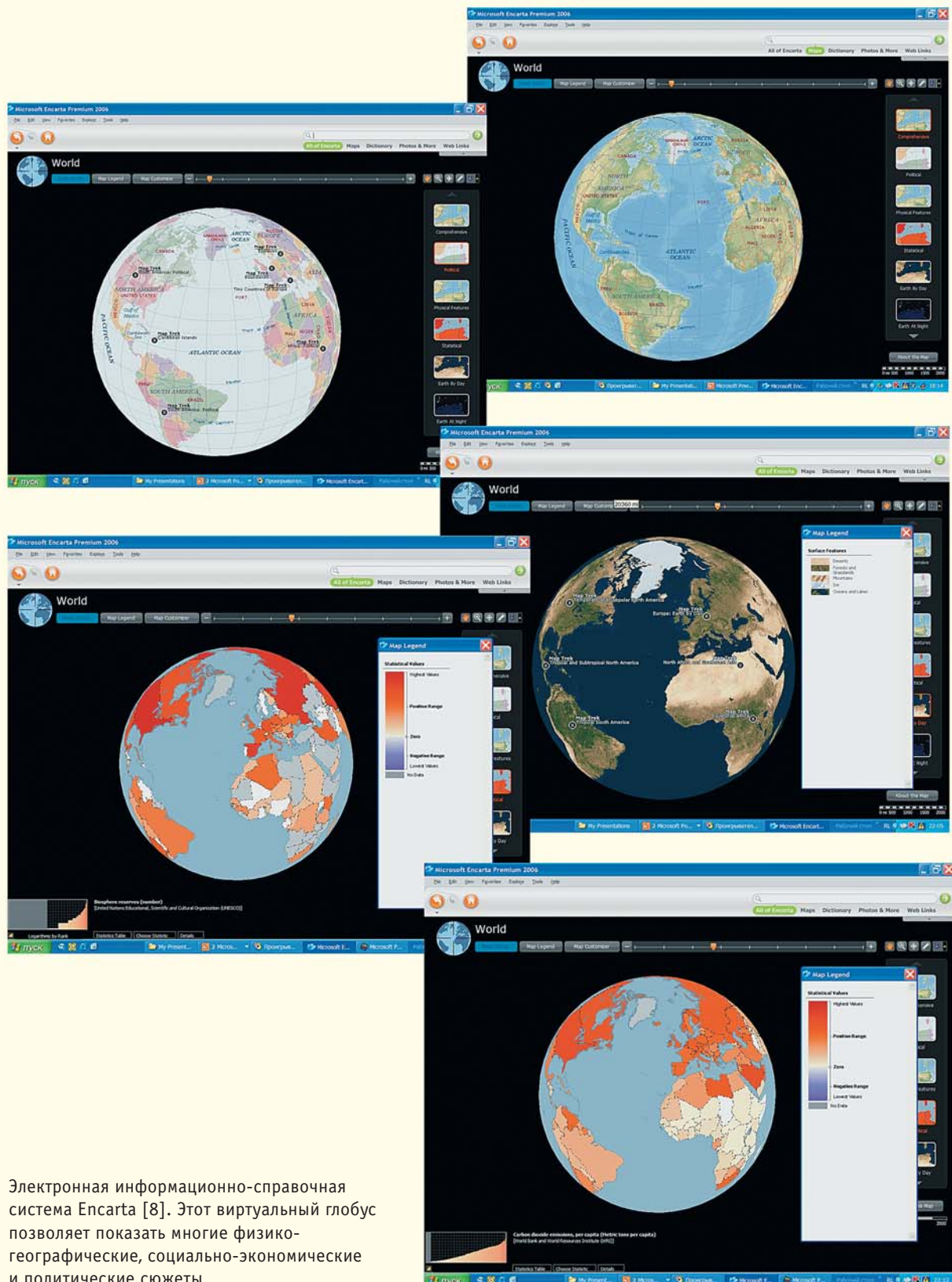
Наиболее совершенная из таких систем — «Google Earth» — позволяет к тому же получать изображения крупнейших столиц мира в масштабе около 1:1 000. Правда, в других случаях хорошее разрешение сохраняется в масштабах примерно от 1:10 000 до 1:50 000 — это потому, что планета неравномерно покрыта крупномасштабными космическими съемками высокого разрешения. Есть возможность «полетов» к заданному объекту. Для этого надо лишь указать объект в окне поиска, после чего глобус начинает быстро поворачиваться и перед наблюдателем проносятся океаны,



Пластиковые глобусы Земли. Рельеф суши (вверху) показан с преувеличением вертикального масштаба в 250 раз, рельеф морского дна — в 150 раз. Масштаб 1:28 000 000, диаметр — 46 см на ур.м. [12].



Электронный глобус, отражающий взаимодействие океана и атмосферы [13].



Электронная информационно-справочная система Encarta [8]. Этот виртуальный глобус позволяет показать многие физико-географические, социально-экономические и политические сюжеты.

причем хорошо «виден» рельеф морского дна, мелькают материки и в увеличивающемся масштабе появляются указанный объект и его окрестности. С помощью кнопок интерфейса можно перемещать картину вправо-влево и вверх-вниз, вращать изображение в горизонтальной плоскости, наклонять относительно горизонта и т.д. В системе «Google Earth» можно построить трехмерные изображения крупных городов мира, увидеть архитектурные ансамбли, лабиринты улиц, автострады.

Есть возможность «покружить» над гималайскими восьмитысячниками и сделать распечатки («моментальные снимки») отвесных обрывов Эвереста, громадных нависающих снежников и спускающихся ледников. Никакие наземные наблюдения не способны обеспечить такой разномасштабный и всесторонний обзор. Изображение, созданное по цифровой модели, свободное от облачности, детали поверхности видны отчетливо — геологи, тектонисты, гляциологи, пожалуй, впервые располагают такими уникальными геоизображениями.

Другая глобальная справочно-информационная система «World Wind» изготовлена по материалам космических съемок НАСА с «Ландсата-7» (1999—2003). Виртуальный глобус функционирует в Интернете в свободном доступе под управлением Microsoft Windows. Он появляется на экране в красочном ландшафтном оформлении с изображением границ и флагов государств, названий крупных городов и областей, а также текущих координат любой точки на глобусе. Нажатием клавиши мышки на иконке государственного флага пользователь может перейти в виртуальную справочную систему «CIA World Fact Book», которая выведет на экран карту и справочную информацию о стране.

Точно так же, нажав мышкой на отмеченный на карте город, можно вызвать страницу интер-

нетовской виртуальной энциклопедии — «Википедии» («Wikipedia»), где есть сведения об истории и достопримечательностях города, фотографии некоторых наиболее известных его объектов. В отличие от «Google Earth», система «World Wind» ориентирована на потребителей, которых прежде всего интересуют география, преподавателей, геоэкологов.

Мультимедийная энциклопедия «Encarta» выпущена на компакт-дисках CD-ROM и DVD-ROM в 2005 г. Ее содержание составляют сведения по истории, географии, экономике, статистике, культуре и искусству, литературе; англо-иноязычные словари по нескольким языкам с голосовой поддержкой; а также довольно подробный электронный атлас — это одновременно энциклопедическое и картографическое произведение, что и отражено в его названии.

Объем «Encarta» — около 68 тыс. энциклопедических статей, свыше 25 тыс. рисунков и фотографий, 300 видео. Все видеоматериалы связаны ссылками со статьями энциклопедии и, как правило, имеют выход в соответствующие интернетовские веб-сайты. Система функционирует как научно-справочное и учебное издание широкого пользования для учителей, преподавателей вузов, студентов, школьников. Базы данных «Encarta» расширяет за счет приобретения прав и инкорпорирования в свой состав электронных версий всемирно известных энциклопедий, таких как «Britanica», «Wagnalls Funk», школьные энциклопедии «Collier», детская энциклопедия Макмиллана и др. [8].

Особое место принадлежит интерактивному Атласу мира. Он содержит около 1.8 млн географических названий, подсистему ссылок на веб-сайты, что обеспечивает выход в Интернет. Основу «Encarta» составляет виртуальный глобус, который может менять пространственный охват от изображения всего

земного шара на экране, т.е. примерно от 1:100 000 000, до крупномасштабных карт 1:2000—1:5000, дающих возможность рассмотреть улицы крупных городов (правда, далеко не всех). Глобус политематичен и позволяет показывать многие физико-географические, социально-экономические и политические сюжеты.

Карты снабжены гиперсвязями с соответствующими энциклопедическими статьями и выборочными веб-сайтами и модулем *Dynamic Sensor*, визуализирующим во всплывающем окне значения долготы, широты, географическое наименование населенного пункта, число жителей в нем и местное время в любом городе на глобусе или в единице административного деления (штате, графстве и др.).

Кроме того, можно увеличивать или уменьшать изображение, выполнять измерения по картам, наносить объекты по координатам, вызывать описание самого картографического изображения, краткие энциклопедические справки, фотографии природных ландшафтов [8]. Кнопки на панели, расположенной слева от карты, позволяют переходить к следующим разделам: «Политико-административное устройство», «Физико-географические особенности» (с кадрами отдельных ландшафтов), «Статистика», «Земной шар днем» (ландшафтное изображение территории), «Земной шар ночью» (планета при ночном освещении), «Тектоника», «Экологические регионы», «Климатическое районирование», «Температуры января», «Температуры июля», «Осадки января», «Осадки июля», «Годовое количество осадков», «Плотность населения», «Языки», «Регионы», «Пояса времени», «Границы», «Луна» (вращающийся и масштабируемый полный глобус Луны).

В разделах имеются дополнительные меню с перечнем более узких тем. Например, «Статистика» содержит подразделы по обобщенным статистическим

показателям, сельскому хозяйству, коммуникациям, экономике, образованию, энергетике и минеральным ресурсам, экологии, географии, здоровью населения, расселению, торговле и транспорту. В свою очередь, каждый из подразделов содержит десятки более частных показателей, которые по одному нажатию клавиши мышки предстают на экране в виде картограмм с безинтервальными легендами и гистограммами распределения указанного показателя.

«Google Earth» и «Encarta» — это, пожалуй, наиболее перспективные варианты виртуальных глобусов широкого пользования, которым суждено дальнейшее развитие, в том числе в качестве компонентов больших универсальных информационно-справочных систем. Их оформление отличается дизайном классического стиля. В особенности это касается общегеографических, тематических, справочных карт, планов городов, что весьма целесообразно, поскольку «персональные глобусы» часто используют читатели, не имеющие специальной картографической и географической подготовки. Детальность изображений колеблется от уровня справочного атласа (ти-

па российского справочного Атласа мира), где на 1 дм² приходится несколько сотен географических названий, до уровня хорошего школьного атласа (в России — это Большой атлас учителя), где на 1 дм² помещают порядка 20—40 наименований, прежде всего заботясь о простоте их поиска и хорошей читаемости, избегая перегруженности карт.

Тематические карты природы тоже не отличаются сложностью. При их создании не использованы многомасштабные базы данных и многоуровневая генерализация. Детальность карт невелика, она соответствует уровню школьных атласов. Создатели электронных глобусов, видимо, специально стремятся дать лишь самое общее представление о природных явлениях, избегая детальности и мелкой контурности.

Тематика социально-экономических карт чрезвычайно разнообразна и охватывает десятки сюжетов: от сельского хозяйства до экологии и от здоровья населения до транспорта и торговли. Однако можно отметить и некоторые явные недостатки этих разделов глобусов, которые должны быть устранены по мере совершенство-

вания технологий. Везде использованы исключительно картограммы, а единицей картографирования является страна, что в ряде случаев абсолютно неправильно. Например, с трудом можно еще вообразить «ресурсы питьевой воды», значения которых резко меняются на границах соседних стран, но такие явления, как «содержание двуоксида углерода», «ресурсы биосферы», «разнообразие видов животных» и другие картограммы с резкими изменениями на границах государств — это полный нонсенс.

Создание виртуальных тематических глобусов находится сейчас на начальном этапе, опыт традиционного тематического картографирования учтен явно недостаточно. И все же перспективы глобального картографирования высоки, информационно-картографические глобусные системы имеют практически неограниченные возможности для совершенствования с учетом опыта традиционной географической картографии и возможностей геоинформационных технологий, дистанционного зондирования, статистических данных, результатов контактных тематических съемок и наблюдений. ■

Литература

1. Постников А.В. Развитие картографии и вопросы использования старых карт. М., 1985.
2. [Страбон] География Страбона в семнадцати книгах / Перевод Ф.Г.Мищенко. М., 1879.
3. Багров Л. История картографии. М., 2004.
4. Алейнер А.З., Ларионова А.Н., Чуркин В.Г. Герард Меркатор. М., 1962.
5. Карнеев Э. Большой Готторпский глобус // Наука и жизнь. 2004. №7. С.54—59.
6. Кусов В.С. История познания земель российских: Книга для учителя. М., 2002.
7. Fagg K.S. The Rand McNally six-foot geophysical globe relief of the ocean floors // Bull. Geogr. and Map Dir. Spec. Libr. Assoc. 1970. №81.
8. Globe. Microsoft Encarta2006® [CD] Redmond, WA Microsoft Corporatin, 2005.
9. Берлянт А.М. // Вестн. Моск. ун-та. Геогр. 2006. №4. С.43—48.
10. Берлянт А.М. Теория геоизображений. М., 2006.
11. Тяпченко Ю.А. Системы отображения информации комплекса «Алмаз» // Энциклопедия «Космонавтика». М., 2002; tiapchenko@niiao.com
12. <http://www.reliefglobe.com/>
13. The Great Globe Gallery — <http://www.staff.amu.edu.pl/~zbczw/glob/glob21.htm>

«Центральная машина» в компактных астрофизических объектах

В.С.Бескин

Наблюдения показывают, что наличие двух противоположно направленных струйных выбросов вещества (джетов) — общее свойство, характерное для многих астрономических объектов [1]. При этом области, в которой формируются джеты, достаточно компактны, так что их внутреннюю структуру невозможно разрешить с помощью современных телескопов. Поэтому до сих пор неизвестно, как работает «центральная машина»: каков источник и механизм выделения энергии, что приводит к формированию узконаправленных струй. Мы расскажем о наиболее популярной модели, в которой центральная машина представляет собой вращающуюся черную дыру, окруженную аккреционным диском. Сильное магнитное поле, создаваемое в диске, формирует магнитосферу черной дыры, заполненную заряженными частицами. Электрические токи, текущие в магнитосфере, и приводят к торможению вращения черной дыры, а выделяемая при этом энергия уносится вместе с веществом струйных выбросов.

О струйных выбросах

Уже через несколько лет после открытия на рубеже шести-



Василий Семенович Бескин, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отделения теоретической физики им.И.Е.Тамма Физического института им.П.Н.Лебедева РАН, профессор Московского физико-технического института. Лауреат премии им.Л.И.Мандельштама РАН (1994). Занимается вопросами космической электродинамики и плазменной астрофизики.

десятих годов радиогалактик (рис.1,*а*) — протяженных областей радиоизлучения — стало ясно, что их активность связана с двумя струйными выбросами, истекающими из компактного источника, находящегося в центре «родительской» галактики. Обычно такие активные галактики находятся так далеко, что их изображения неотличимы от обычных звезд. Поэтому их часто называют квазарами (по-английски QSO — квазизвездный объект). Струйные выбросы оказались релятивистскими, т.е. скорости вещества в них близки к скорости света c . Продольные размеры джетов достигают сотен тысяч световых лет, что сравнимо с расстояниями между галактиками. Другим удивительным свойством джетов является высокая степень их коллимации — угол расхождения состав-

ляет всего несколько градусов. При этом полные потери энергии могут достигать 10^{45} эрг/с, что сравнимо со светимостью самой галактики. Сейчас уже мало кто сомневается в том, что образование струй связано с аккрецией (падением) вещества на находящуюся в центре галактики сверхмассивную черную дыру (их массы оценивают в миллиарды солнечных масс), поскольку лишь в этом случае удастся объяснить высокое энерговыделение этих поразительных источников [2].

Но круг источников, имеющих джеты, отнюдь не исчерпывается далекими квазарами. Недавно открытые микрокварзары (рис.1,*б*) — это объекты, расположенные в нашей Галактике. Формирование их струйных выбросов связывают со сверхкритической аккрецией на черную

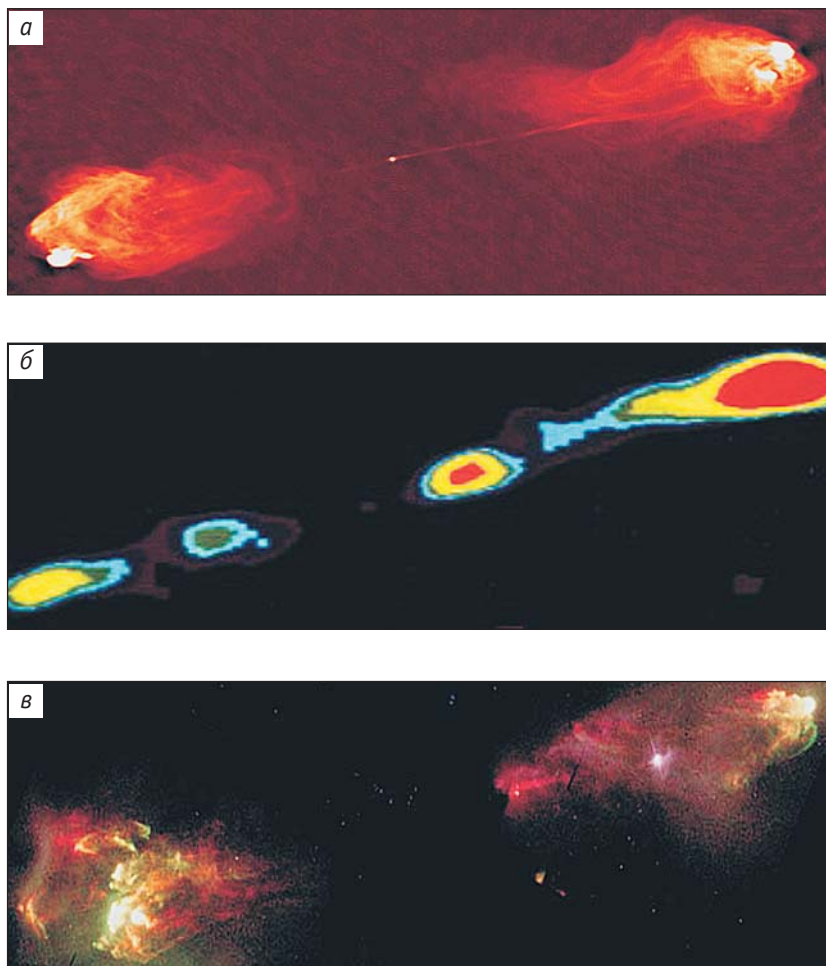


Рис.1. Струйные выбросы, наблюдаемые в квазарах (а), микроквазарах (б) и молодых звездах (в).

дыру или нейтронную звезду с массой порядка солнечной (M_{\odot}), когда компактный объект не в состоянии поглотить все падающее на него вещество [2]. Продольные размеры джетов составляют обычно доли светового года, а угол раствора вновь не превышает нескольких градусов. У таких объектов иногда также регистрируются скорости, близкие к скорости света. Общая же энергетика оценивается в 10^{37} эрг/с, что лишь в тысячу раз больше светимости Солнца. Несмотря на большое различие в размерах и энерговыделении, внешне квазары и микроквазары оказываются чрезвычайно похожими, что и объясняет возникновение самого термина микроквазар.

Еще один класс объектов, обладающих струйными выбросами, — молодые звезды. Они были впервые косвенно обнаружены в начале 50-х годов, когда Дж.Хербиг и Дж.Аро открыли новый класс протяженных образований (рис.1,в), существующих обычно парами и также черпающих свою энергию из двух струйных выбросов. Образование же самих струй, как стало ясно значительно позже, связано с молодыми быстровращающимися звездами [3]. У 60% источников видны оба струйных выброса, а в остальных случаях удаленный от нас выброс закрыт аккреционным диском, окружающим молодую звезду. Протяженность джетов может достигать нескольких световых

лет, углы раствора — нескольких градусов, а характерные скорости движения вещества — порядка 300 км/с — существенно меньше скорости света. Другие физические характеристики молодых звезд (их массы порядка 3—10 M_{\odot} , а полное энерговыделение составляет 10^{31} — 10^{36} эрг/с) также существенно отличаются от характеристик объектов, находящихся в центре активных галактических ядер.

Есть достаточно надежные аргументы, хотя и косвенные, в пользу существования струйных выбросов у источников гамма-всплесков [4, 5]. Если считать, что излучение в гамма-диапазоне происходит изотропно, то при расстояниях порядка 10^9 св. лет, характерных для таких источников, полная светимость должна достигать 10^{54} эрг/с. Процессы с таким огромным энерговыделением нам неизвестны. Если же предположить, что гамма-кванты излучаются в узком конусе углов порядка 1° , оценка излучаемой мощности может быть понижена до 10^{31} эрг/с, что по порядку величины уже близко к энергии, выделяющейся во время взрывов сверхновых. При этом в большинстве моделей вновь рассматривается быстро вращающаяся черная дыра с массой порядка массы Солнца, окруженная аккреционным диском. Иными словами, модель вновь строится по той же схеме, что и для активных галактических ядер [2].

Источник активности — вращающаяся черная дыра

Таким образом, струйные выбросы существуют не только в релятивистских объектах, в которых истекающее вещество имеет скорости, близкие к скорости света, но и в молодых звездах, где скорости истекающего вещества не являются релятивистскими. Это наводит на мысль, что и механизм формирования направленных течений у всех объектов должен быть до-

статочны универсальным. Как мы видели, во всех случаях таким общим свойством была аккреция вещества на компактный объект. Поэтому природу их активности естественно связать с гравитационной (т.е. попросту потенциальной) энергией, выделяемой при аккреции. Однако наличие аккреционных дисков однозначно указывает на то, что падающее вещество обладает большим угловым моментом. Поэтому необходимо было найти эффективный механизм отвода углового момента за пределы аккреционного диска. Именно эту роль и играют струйные выбросы. Для молодых звезд при этом важно, что истечение вещества уменьшает угловой момент и самой звезды, помогая ей сжаться до необходимых размеров. Вращение вещества вокруг оси джета в струйных выбросах из молодых звезд было недавно обнаружено прямыми наблюдениями.

Построение модели центральной машины распадается на несколько частей. Необходимо описать полные потери энергии в компактном объекте, механизм передачи углового момента от аккрецирующего вещества к струйным выбросам и само сжатие выбросов в сильно сколлапсированную струю. Мы обсудим здесь лишь модель, в которой основное место отводится вращающейся черной дыре, т.е. рассмотрим лишь релятивистские объекты (что реализуется и в случае активных ядер, и в микрокварах и, предположительно, в источниках гамма-всплесков). При этом мы сосредоточимся лишь на объяснении механизма потерь энергии этих объектов.

Прежде всего постараемся понять, почему для происхождения струйных выбросов необходима именно черная дыра. Как уже отмечалось, у релятивистских объектов скорости частиц в струйных выбросах оказываются близки к скорости света c . В принципе частицы могут быть ускорены до больших скоро-

стей за счет газового давления или давления света. Но для этого светимость компактного объекта должна быть достаточно велика, чего не наблюдается в действительности. При аккреции же релятивистские скорости могут появиться лишь в том случае, если радиус компактного объекта R близок к радиусу горизонта черной дыры

$$r_g = 2GM/c^2. \quad (1)$$

Это знаменитое выражение, полученное П.Лапласом еще в XVIII в., может быть найдено из условия, что вторая космическая скорость равна скорости света. Для звезды солнечной массы гравитационный радиус составляет лишь 3 км, а для сверхмассивных черных дыр в центрах квазаров может достигать размеров солнечной системы. Конечно же, нам необходимо, чтобы скорости частиц были направлены от черной дыры. А вот для этого приходится привлекать сильные электромагнитные поля.

Имеется также ряд косвенных аргументов, говорящих в пользу существования черной дыры у основания струйных выбросов. Как известно, черная дыра по определению не может быть источником плазмы. Поэтому истечение вещества может стать возможным лишь в том случае, если плазма сама будет рождаться в магнитосфере черной дыры. Оказалось, что эффективный механизм рождения плазмы действительно существует. Дело в том, что благодаря сильному разогреву внутренних областей аккреционных дисков они должны генерировать большое количество жестких гамма-квантов, энергии которых превышают массу покоя электрона. Столкновение таких энергичных фотонов и приводит к эффективному рождению электронно-позитронных пар, заполняющих магнитосферу черной дыры.

Таким образом, мы приходим к заключению, что струйные выбросы, связанные не с ак-

креционным диском, а с самой черной дырой, должны состоять не из обычной, а из электронно-позитронной плазмы. В пользу этой модели говорит, например, тот факт, что в релятивистских выбросах микроквараз не наблюдаются эмиссионные линии, которые излучает обычное вещество (и которые хорошо видны в джетах из молодых звезд). Ультрарелятивистский характер течения в источниках гамма-всплесков также накладывает ограничение на состав частиц в струйном выбросе, поскольку существование протонов противоречило бы полному энергоделиению гамма-всплеска [4]. Поэтому вклад протонов должен составлять лишь 10^{-5} от полного числа частиц, так что и здесь речь может идти именно об электронно-позитронных джетах.

Подчеркнем, что аккрецирующее вещество, обладающее собственным угловым моментом, будет увеличивать угловую скорость вращения черной дыры Ω_H . Поэтому не исключено, что черная дыра сможет раскрутиться до предельных значений $\Omega_H r_g \sim c$. Тогда источником активности станет не только гравитационная энергия падающего вещества, но и энергия вращения черной дыры, и для случая предельного вращения запасы энергии будут сравнимы с ее энергией покоя: $E_{\text{вр}} \sim Mc^2$. Этой энергии вполне достаточно, чтобы объяснить энергетику струйных выбросов.

Униполярный индуктор

Итак, рассмотрим вопрос о механизме выделения энергии в центральной машине. Чтобы понять, почему к потерям энергии вращающейся черной дыры может привести существование магнитного поля, обратимся к известному примеру униполярного индуктора, представляющего собой вращающийся намагниченный шар, к которому двумя концами присоединен

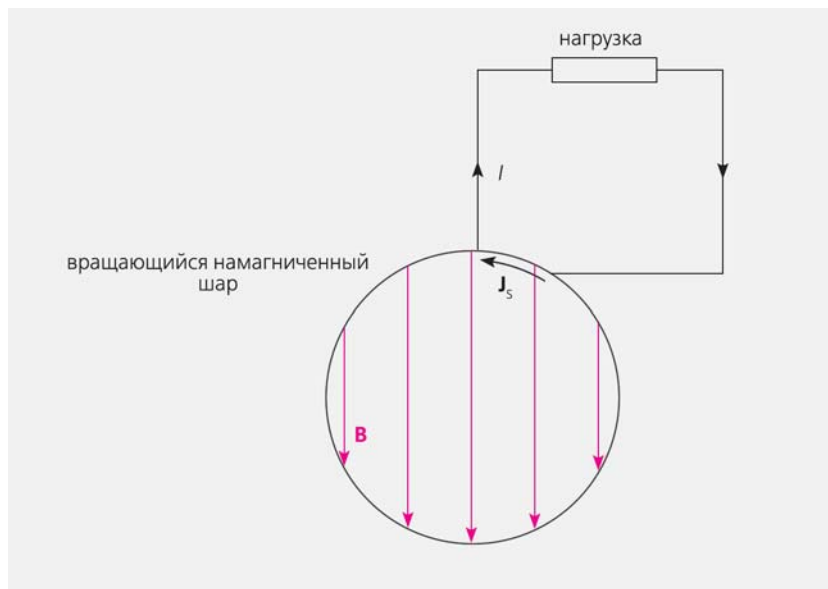


Рис.2. Униполярный индуктор как модель магнитосферы компактного объекта. Вращающийся однородно намагниченный шар играет роль нейтронной звезды или черной дыры, тогда как невращающийся проводник моделирует магнитные силовые линии.

проводник (см. рис.2). При этом обязательно должны быть выполнены два условия.

Проводник не должен вращаться вместе с шаром (точнее, он не должен вращаться с той же угловой скоростью).

Два конца проводника должны подсоединяться к шару на разных широтах (наиболее выгодный способ — полюс и экватор).

В результате между концами проводника возникает разность потенциалов U , которая и становится источником электрического тока. Ее величину легко оценить, зная, что хорошо проводящая среда, движущаяся со скоростью \mathbf{v} в магнитном поле \mathbf{B} , создает электрическое поле $\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}/c$. При $\mathbf{v} = \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}$ это условие означает просто, что в системе отсчета вращающегося шара электрическое поле равно нулю. Поэтому по порядку величины разность потенциалов U на концах проводника будет равна

$$U \sim ER = (\Omega R/c)RB_0, \quad (2)$$

где Ω — угловая скорость вращения шара, R — его радиус, а B_0 — магнитное поле на его по-

верхности. При этом электрический ток I , текущий вдоль провода, будет отводить энергию от батареи (т.е. от вращающегося шара) к внешней нагрузке, где и происходит выделение тепла. В итоге кинетическая энергия вращения шара за счет действия электромагнитных сил будет уноситься на бесконечность. Механизм же замедления вращения связан с силой Ампера $\mathbf{F}_A = \mathbf{J}_s \times \mathbf{B}/c$, действующей через ток \mathbf{J}_s на поверхность шара. Такой поверхностный ток должен неизбежно появиться для замыкания токов, текущих в проводнике.

Подчеркнем, что здесь появление электродвижущей силы не связано с эффектом Фарадея. Как видно из рис.2, магнитный поток через внешний контур не изменяется во времени. Электрический ток становится возможным благодаря появлению сторонних сил, действующих на свободные электроны со стороны вещества вращающегося шара и перемещающих электроны по поверхности шара, замыкая ток, текущий по проводу. Действительно, появление электриче-

ского поля $\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}/c$ в объеме шара требует определенного перераспределения в последнем электрических зарядов. Распределение зарядов нарушается, когда электроны перемещаются вдоль проводника от одной части шара к другой. В результате в шаре возникает небольшое дополнительное электрическое поле, которое и приводит к движению электронов проводимости в униполярном индукторе.

Сейчас точно установлено, что именно таким образом происходит выделение энергии у радиопульсаров — вращающихся намагниченных нейтронных звезд, окруженных магнитосферой, заполненной достаточно плотной электронно-позитронной плазмой [6, 7]. Такая плазма должна рождаться в сильных электромагнитных полях у поверхности нейтронной звезды. Механизм замедления вращения связан с поверхностными токами в проводящей коре нейтронной звезды*, замыкающими токи, текущие вне звезды. Как показано на рис.3, сила Ампера $\mathbf{F}_A = \mathbf{J}_s \times \mathbf{B}/c$, действующая через ток \mathbf{J}_s на поверхность звезды, и приводит к ее торможению. При этом от поверхности звезды будет уноситься энергия, что, как известно, можно описать с помощью потока вектора Пойнтинга $\mathbf{S} = (c/4\pi) \mathbf{E} \times \mathbf{B}$. Вращение звезды приводит к возникновению электрического поля \mathbf{E} , тогда как ток, текущий вдоль силовых линий магнитного поля, генерирует азимутальное магнитное поле B_ϕ . Они и формируют поток электромагнитного поля. Подчеркнем, что в осесимметричном случае электромагнитные поля не зависят от времени, и поэтому они не представляют собой электромагнитную волну в обычном понимании этого слова.

Что же касается величины электрического тока I , его можно оценить из следующих про-

* Поверхностные слои нейтронной звезды состоят из обычного, хотя и сильно сжатого вещества, способного проводить электрический ток.

стных соображений. Плотность электрического заряда ρ_c , необходимая для генерации электрического поля $E \sim (v/c)B$, может быть оценена как $\rho_c \sim E/L$, где $L \sim R$ — характерный размер порядка радиуса нейтронной звезды. Для $\mathbf{v} = \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r}$ точное выражение для плотности заряда выглядит как [6]

$$\rho_c = -(\boldsymbol{\Omega}\mathbf{B})/2\pi c. \quad (3)$$

Умножая плотность заряда (3) на скорость света c , а также на площадь πR_0^2 , где R_0 — размер области, в котором течет ток I , получаем

$$I \sim \Omega R_0^2 \rho_c. \quad (4)$$

Для радиопульсаров радиус R_0 определяется размером полярной шапки, из которой магнитные силовые линии уходят за пределы так называемого светового цилиндра радиуса $R_L = c/\Omega$ (см. рис.4). Дело в том, что хорошо проводящая плазма, заполняющая магнитосферу, всегда начинает твердотельно вращаться вместе со звездой. Такое совместное вращение (коротация) хорошо известно для случая магнитосферы Земли и больших планет. Однако коротация становится невозможной за пределами светового цилиндра, так как скорость вращения здесь превышала бы скорость света. Поэтому, как видно на рис.4, в магнитосфере выделяются две группы силовых линий. Одна группа, выходящая из полярной шапки, пересекает световой цилиндр и уходит на бесконечность, а другая, находящаяся вдали от магнитной оси, замыкается в пределах светового цилиндра. Плазма, заполняющая область замкнутых силовых линий, будет вращаться вместе со звездой, и, следовательно, не сможет участвовать в работе униполярного индуктора. Продольные токи будут течь лишь в области открытых силовых линий.

Воспользовавшись оценкой $R_0 \sim (\Omega R/c)^{1/2} R$, справедливой для дипольного магнитного поля, а также очевидным общим соот-

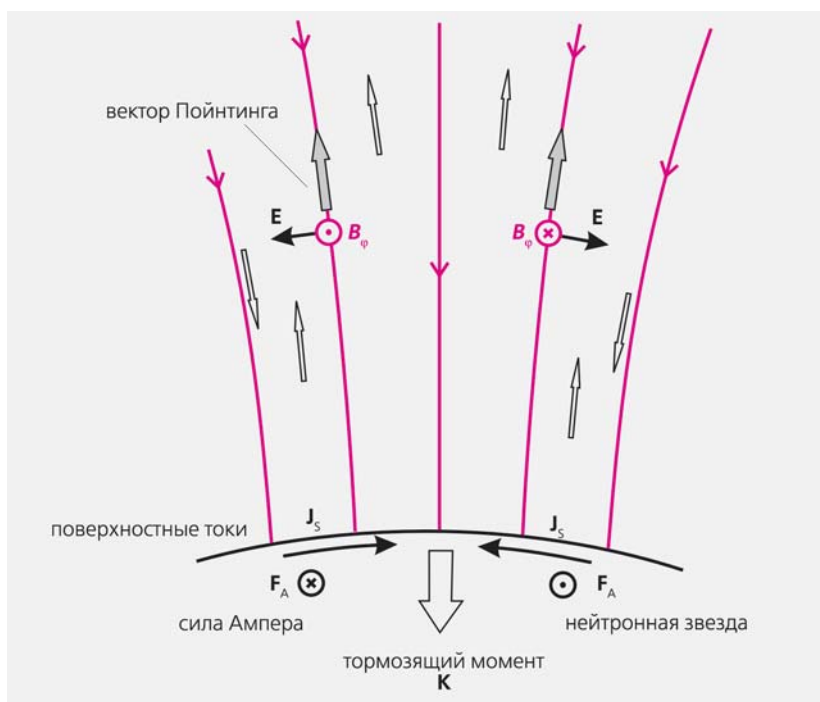


Рис.3. Электрические токи, текущие в магнитосфере нейтронной звезды (контурные стрелки), замыкаются на ее поверхности. Сила Ампера F_A , связанная с поверхностными токами J_s , приводит к замедлению вращения звезды. Выделяемая энергия уносится от звезды электромагнитным полем (вектором Пойнтинга S).

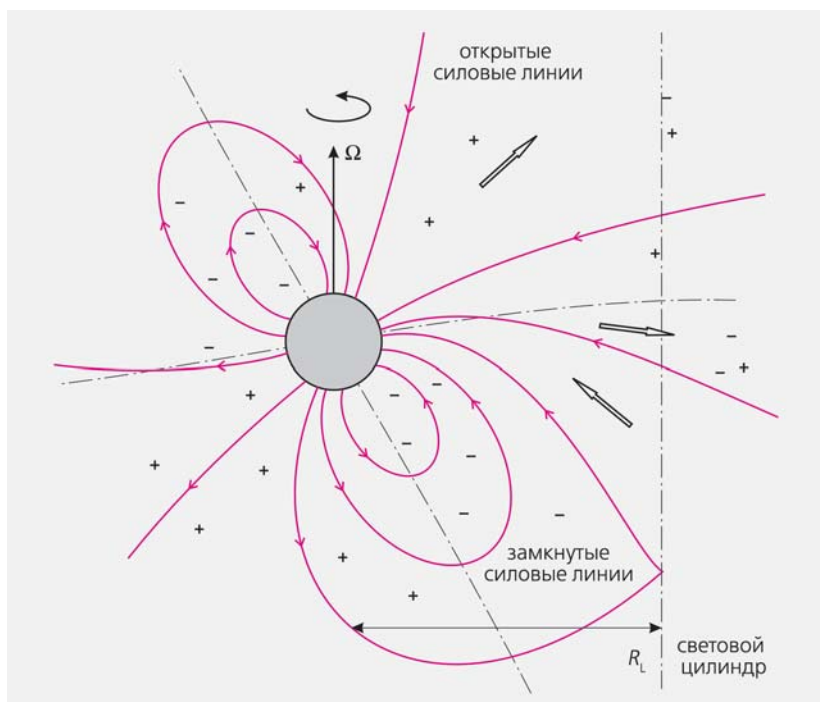


Рис.4. Открытые и замкнутые силовые линии в магнитосфере радиопульсара. Плазма, заполняющая область замкнутых силовых линий, вращается твердотельно вместе со звездой. Продольные токи текут лишь в области открытых силовых линий.

ношением для потерь энергии радиопульсаров $W = IU$, где теперь $U \sim (\Omega R_0/c) R_0 B$, получаем хорошо известное выражение [3]

$$W \sim (\Omega R/c)^4 B_0^2 R^2 c. \quad (5)$$

Для стандартных параметров нейтронных звезд (радиус $R \sim 10$ км, магнитное поле $B_0 \sim 10^{12}$ Гс, $\Omega R/c \sim 10^{-2} - 10^{-4}$) оно соответствует наблюдаемым потерям энергии радиопульсаров $W \sim 10^{31} - 10^{38}$ эрг/с.

Итак, магнитное поле действительно может играть ключевую роль в процессе выделения энергии из быстро вращающихся компактных объектов. Понятно, что одновременно компактный объект будет терять и момент количества движения. Мы уже подчеркивали универсальность этого механизма. Следовательно, магнитное торможение может иметь место у самых различных астрофизических источников. В частности, подобным же образом должны терять энергию и угловой момент нерелятивистские объекты, т.е. обычные звезды.

И действительно, надежно установлено, что «магнитные» звезды, у которых магнитное поле на поверхности достигает нескольких килогауссов, вращаются гораздо медленнее, чем звезды, не обладающие такими сильными магнитными полями. Естественно связать это различие именно со значительно более эффективным замедлением звезды в течение ее жизни. Не исключено, что именно магнитное торможение объясняет и хорошо известный факт, что момент количества движения в солнечной системе содержится не в Солнце, а в больших планетах.

Черная дыра в магнитном поле

Простота и естественность, с которой удалось объяснить активность радиопульсаров, побудили распространить описанный выше механизм торможе-

ния и на вращающиеся черные дыры. Для его реализации, как мы видели, необходимо наличие:

- регулярного магнитного поля, играющего роль проводника,
- вращения центрального тела, создающего электрическое поле,
- электрического тока, забирающего энергию от вращающегося тела и уменьшающего скорость его вращения.

А основной задачей, которую нужно было решить для обоснования природы активности компактного объекта, стала задача нахождения структуры электрических токов, текущих в его магнитосфере.

Здесь следует сделать два важных замечания. Во-первых, необходимо объяснить, почему магнитное поле может играть роль проводника. Ведь обычно внешнее магнитное поле (например, собственное магнитное поле Земли) никак не влияет на направление распространения токов — они будут течь лишь вдоль приложенного электрического поля. Однако если магнитное поле достаточно велико, а плотность среды достаточно мала (так что длина свободного пробега частиц становится

больше радиуса окружности r_L , по которой заряженная частица движется в магнитном поле), то в этом случае проводимость среды поперек магнитного поля должна быть существенно подавлена. И с хорошей точностью можно будет считать, что заряженные частицы (а значит, и электрический ток) движутся лишь вдоль внешнего магнитного поля.

Во-вторых, согласно так называемой «теореме об отсутствии волос» черная дыра не может иметь своего собственного магнитного поля. Магнитное поле любого источника (например, контура с током), приближающегося к поверхности черной дыры, будет так искажаться ее гравитационным полем, что вне черной дыры оно будет быстро уменьшаться с течением времени. Единственное собственное поле, которым может обладать черная дыра, — электрическое поле заряда, находящегося в ее центре.

Чтобы понять причину этого явления, удобнее рассмотреть не магнитный, а электрический диполь, т.е. два близко расположенных разноименных электрических заряда. На рис.5 показано, как искажается электричес-

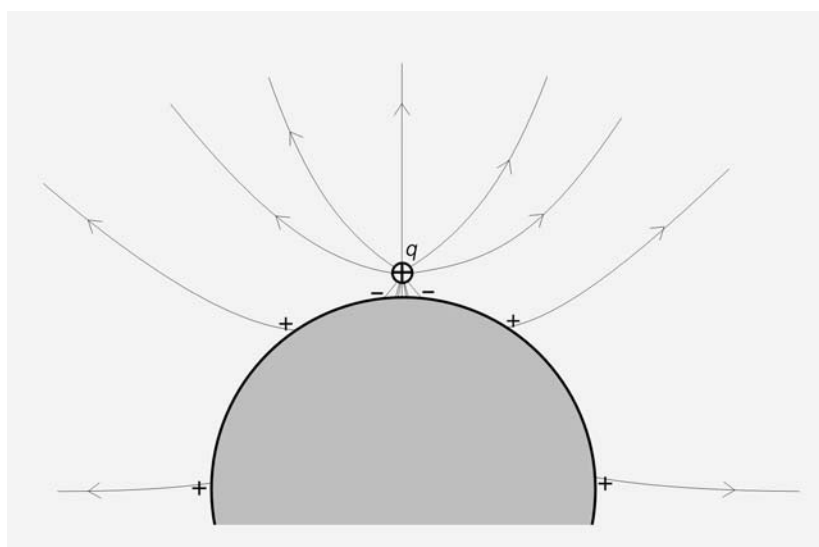


Рис.5. Силовые линии электрического поля заряда q , находящегося вблизи горизонта черной дыры. Удаленному наблюдателю будет казаться, что положение заряда совпадает с центром черной дыры.

кое поле одного заряда q , находящегося вблизи черной дыры. Несмотря на то, что заряд q находится вблизи горизонта, удаленному наблюдателю будет казаться, что его положение почти совпадает с центром черной дыры. А это значит, что при приближении электрического диполя к горизонту событий оба заряда, по мнению удаленного наблюдателя, будут приближаться к центру черной дыры. За счет кажущегося уменьшения расстояния \mathbf{l} между зарядами величина дипольного момента $\mathbf{d} = q\mathbf{l}$ будет стремиться к нулю. Значит, будет стремиться к нулю и электрическое поле диполя, регистрируемое вдали от черной дыры. Точно так же будет уменьшаться и магнитное поле магнитного диполя по мере его приближения к горизонту событий.

Таким образом, собственное магнитное поле черной дыры должно быть равно нулю. Однако «теорема об отсутствии волос» не запрещает черной дыре быть погруженной во внешнее магнитное поле. Такое магнитное поле вполне может быть создано в аккреционном диске, который способен играть роль динамо-машины.

Для нас окажется важным еще одно удивительное свойство черных дыр. Оно состоит в том, что вблизи вращающейся черной дыры становится возможным релятивистской энергией $E < 0$ (т.е. движение, при котором дефект массы частиц больше 100%). А это значит, что энергия вращения может быть передана окружающим телам. Действительно, если частица с отрицательной энергией пересечет горизонт событий, то энергия черной дыры должна уменьшиться. Такой процесс выделения энергии вращающейся черной дыры называется процессом Пенроуза [8].

Ясно, однако, что тело с отрицательной энергией нужно приготовить вблизи от горизонта, поскольку релятивистская энергия тела E вдали от черной

дыры всегда положительна. Поэтому простейшая реализация процесса Пенроуза состоит в следующем. Пусть на большом расстоянии от черной дыры мы имеем систему двух тел, соединенных сжатой пружиной, полная энергия которой (включая и энергию сжатой пружины) есть E_{in} . Понятно, что вместо пружины может быть использован другой источник энергии, например ракетный двигатель. Если отпустить пружину (или включить двигатель) в непосредственной близости от черной дыры, то при определенных условиях энергия одного из тел, падающих на черную дыру, может оказаться отрицательной. При этом второе тело приобретает достаточную энергию, чтобы уйти на бесконечность, причем его энергия E_{out} будет больше начальной энергии E_{in} . Увеличение же энергии тела, ушедшего на бесконечность, компенсируется уменьшением энергии вращения черной дыры.

Процесс Блэндфорда—Знайека

Оказалось, что универсальная идея униполярного индуктора действительно может быть напрямую применена и к магнитосфере черной дыры, сформированной внешним магнитным полем. В частности, потери энергии можно оценивать точно так же, как это было сделано для магнитосферы радиопульсаров. Единственное отличие состоит в том, что радиус полярной шапки R_0 следует заменить на гравитационный радиус r_g , поскольку роль униполярного индуктора может играть вся поверхность горизонта событий. В результате оценка для потерь энергии по формуле $W = IU$ немедленно приводит к выражению

$$W_{\text{BZ}} \sim (\Omega_{\text{H}} r_g / c)^2 B^2 r_g^2 c, \quad (6)$$

полученному в 1977 г. Р.Блэндфордом и Р.Знайеком [9] при анализе строения магнитосферы вращающейся черной дыры.

Для физических условий, которые, как предполагают, могут быть реализованы в ядрах активных галактик (магнитное поле $B \sim 10^4$ Гс, радиус черной дыры $r_g \sim 10^{14}$ см, предельное вращение $\Omega_{\text{H}} r_g / c \sim 1$), эта формула хорошо согласуется с наблюдаемыми потерями энергии $W \sim 10^{45}$ эрг/с. Более того, в 1982 г. К.Торном и Д.Макдональдом был сформулирован подход, который полностью закреплял аналогию между магнитосферами нейтронной звезды и черной дыры [10]. Для этого было введено понятие проводящей мембраны, расположенной у горизонта черной дыры, свойства которой были полностью эквивалентны свойствам поверхности нейтронной звезды. В частности, по поверхности мембраны могли течь электрические токи, замыкающие токи, текущие в магнитосфере. При этом было показано, что тормозящее действие силы Ампера, связанной с поверхностными токами, приводит к выражению (6) для потерь энергии вращающейся черной дыры. Неудивительно поэтому, что механизм Блэндфорда—Знайека повсеместно использовался для объяснения активности астрофизических объектов.

Однако впоследствии выяснилось, что многие элементы описанной выше и на первый взгляд стройной картины физических явлений не выдерживают критики. Вопрос оказался столь серьезным, что в некоторых работах был даже сделан вывод о том, что черная дыра вообще не может терять энергию вращения за счет токов, текущих в ее магнитосфере [11]. Действительно, поверхность черной дыры по определению причинно не связана с внешним пространством, так что информация о поверхностном токе не может быть передана удаленному наблюдателю. Кроме того, так как черная дыра не имеет твердой поверхности, совершенно непонятно, какой смысл имеют поверхностные токи и на

что действует сила Ампера, которая должна тормозить черную дыру.

Впрочем, как сейчас стало ясно, критика касалась лишь мембранной трактовки, но не затрагивала самих основ процесса Блэндфорда—Знайека. Прежде всего отметим, что в случае черной дыры для замыкания тока не нужно, чтобы родившиеся в магнитосфере заряженные частицы покидали черную дыру (см. рис.6). Для этого достаточно, чтобы суммарный заряд, пересекающий горизонт событий, был равен нулю. Более того, для замыкания тока заряды не должны пересекать и магнитные силовые линии, как это имело место на поверхности нейтронной звезды. Как уже говорилось, удаленному наблюдателю будет казаться, что разно-

именные заряды, приблизившиеся к горизонту, будут находиться в центре черной дыры, где, с его точки зрения, и произойдет замыкание тока.

Однако тогда в электрическом контуре, содержащем черную дыру, необходимо было найти другой источник электродвижущей силы, поскольку теперь сама черная дыра уже не могла быть источником сторонних сил и, следовательно, играть роль батареи. Оказалось, что в магнитосфере черной дыры появление электродвижущей силы связано с эффектом Лензе—Тирринга (эффектом увлечения систем отсчета), который возникает за счет вращения черной дыры и следствием которого фактически и является эффект Пенроуза [8]. Согласно общей теории относительнос-

ти, можно считать, что само пространство в окрестности вращающейся черной дыры начинает вращаться с угловой скоростью $\omega \cong \Omega_H(r_g/r)^3$. Лишь в системе отсчета, вращающейся с этой угловой скоростью, наблюдатель не регистрирует вращение гироскопов. И наоборот, в лаборатории, находящейся в покое относительно вращающейся черной дыры, появятся неинерциальные силы, которые могут быть зарегистрированы.

Увлечение систем отсчета и приводит к появлению электродвижущей силы в магнитосфере черной дыры. Дело в том, что, как и в случае любых тел, движущихся в магнитном поле, «движение пространства» относительно покоящегося наблюдателя приведет к появлению электрического поля $\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B}/c$, где теперь $\mathbf{v} = \omega \times \mathbf{r}$ — скорость покоящегося тела относительно выделенной системы отсчета. При этом важно, что угловая скорость ω (а значит, и линейная скорость v) будет различной на разных расстояниях от черной дыры. Поэтому, как показано на рис.7, циркуляция электрического поля в контуре будет отлична от нуля, и даже в том случае, если электрический контур покоится относительно черной дыры (магнитный поток через него остается постоянным), «движение пространства» сквозь контур породит электродвижущую силу. При этом, как мы видим, «электрическая батарея» будет находиться над поверхностью горизонта черной дыры.

Наконец, как уже подчеркивалось, электрические токи в магнитосфере черной дыры могут течь лишь в случае, когда над поверхностью горизонта действует механизм рождения плазмы. Процесс, связанный со столкновением жестких гамма-квантов, излучаемых с поверхности аккреционного диска, и рождением электрон-позитронных пар, уже упоминался выше. Здесь же нужно обратить внимание на то, что, как и в эффекте Пенроуза,

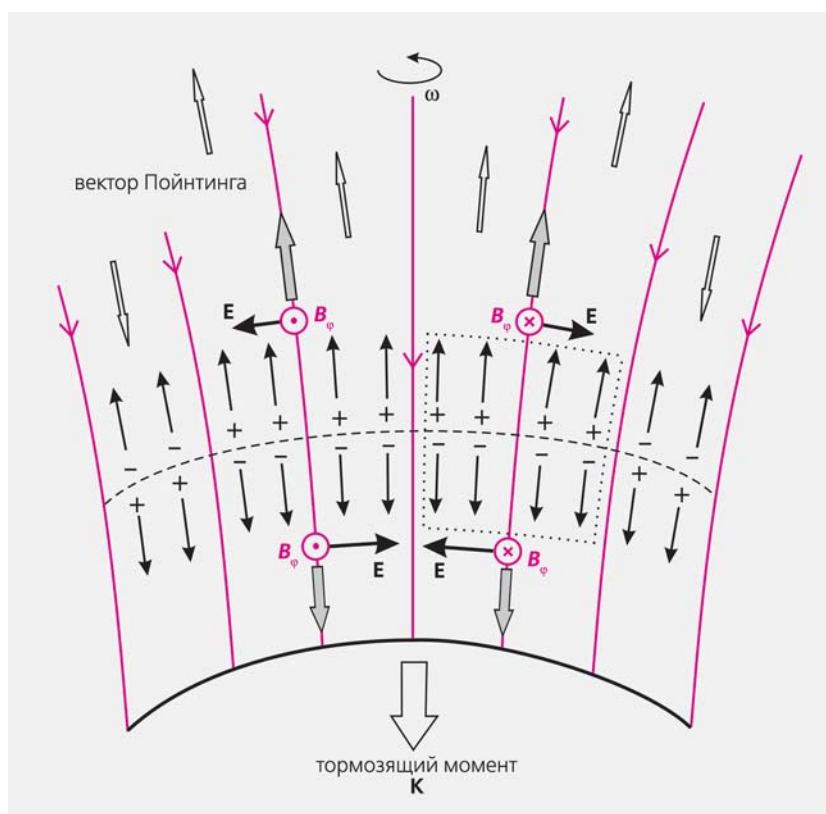


Рис.6. Структура электрических токов (контурные стрелки) вблизи поверхности черной дыры. Выделяемая энергия уносится от звезды электромагнитным полем (вектором Пойнтинга \mathbf{S}). Падающая на черную дыру электромагнитная энергия отрицательна. Источником тока является область рождения электронно-позитронных пар. Направления электромагнитных полей показаны для наблюдателей, вращающихся с угловой скоростью ω .

одна частица должна упасть на черную дыру, а вторая уйти на бесконечность (см. рис.б.). Поэтому становится очевидным, что процесс Блэндфорда—Знайека является фактически просто электромагнитной реализацией процесса Пенроуза. Только он касается не самих заряженных частиц, а создаваемого ими электромагнитного поля. Иными словами, замедление вращения черной дыры связано не с электрическими токами, текущими по поверхности горизонта, а с отрицательным потоком энергии электромагнитного поля, падающего на поверхность черной дыры. Эта интерпретация представляется сейчас наиболее правдоподобной, так что к ней склоняется большинство исследователей, занимающихся этим кругом вопросов.

Таким образом, можно надеяться, что мы сейчас правильно понимаем механизм выделения энергии релятивистских компактных объектов. С другой стороны, как мы видели, следует быть осторожным при попытке перенести наше понимание электродинамических про-

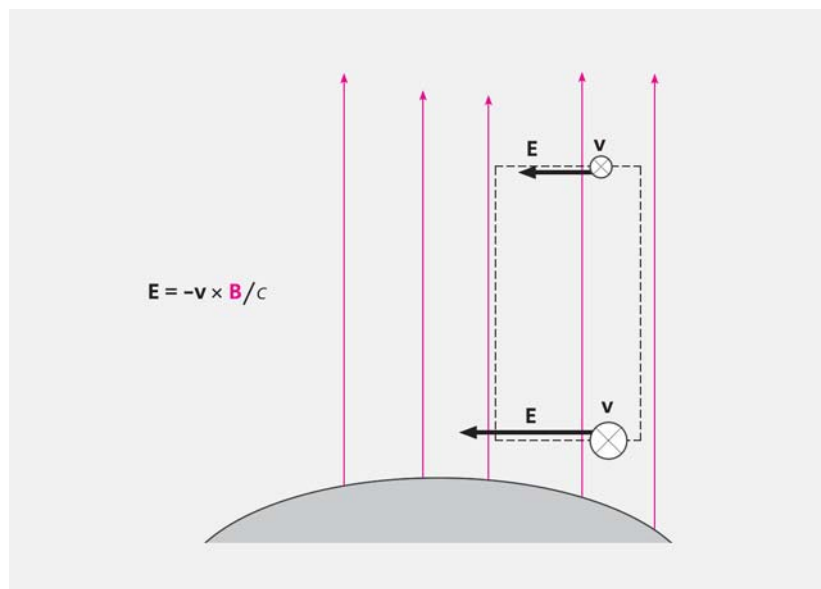


Рис.7. Появление электродвижущей силы в контуре, покоящемся относительно вращающейся черной дыры. Направления электрического поля показаны для покоящихся наблюдателей.

цессов в плоском пространстве на случай магнитосферы черной дыры. Несмотря на то, что вращающаяся черная дыра, погруженная во внешнее магнитное поле, действительно может

работать как униполярный индуктор, сам механизм замедления вращения оказывается не связанным с электрическими токами, текущими по ее поверхности. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 05-02-17770 и 05-02-30015.

Литература

1. Деряшев Е.В., Железняков В.В., Корягин С.А., Кочаровский Вл.В. Релятивистские джеты в астрофизике // Природа. 2007. №3. С.4—14.
2. Черепашук А.М. // УФН. 2003. Т.173. С.345—384.
3. Сурдин В.Г. Рождение звезд. М., 2001.
4. Литунов В.М. Гамма-всплески, русская деревня и первый робот-телескоп в России // Природа. 2006. №10. С.26—32.
5. Постнов К.А. // УФН. 1999. Т.169. С.545—558.
6. Бескин В.С. // УФН. 1999. Т.169. С.1169—1198.
7. Бескин В.С. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике. М., 2006.
8. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. М., 1986.
9. Blandford R.D., Znajek R.L. // Monthly Notices Royal Astron. Society. 1977. V.179. P.433—456.
10. Торн К.С., Прайс Р., Макдональд Д. Черные дыры. Мембранный подход. М., 1988.
11. Punsly B., Coroniti F.V. // Astrophys. Journal. 1990. V.350. P.518—535.

По следам углеродной сверхпроводимости

С.Г.Лебедев

Открытие сверхпроводимости (СП) вызвало всплеск надежд на то, что подобные состояния достижимы не только при охлаждении до температур жидкого азота, но также при комнатных и даже более высоких температурах («горячая» СП, ВТСП). Нет нужды много говорить о преимуществах «горячей» СП — в идеале рассеивание электроэнергии может составить лишь несколько процентов от нынешнего уровня. Вот почему эксперименты в области сверхпроводимости по эмоциональному накалу можно сравнить с поисками Святого Грааля или философского камня. Состояние «горячей» СП, по видимому, реализуется в атомных ядрах и в таких экзотических объектах, как нейтронные звезды. Однако есть основания полагать, что некоторые углеродные конденсаты также могут обладать сверхпроводящим свойством.

Предпосылки углеродной сверхпроводимости

Возможность существования сверхпроводимости с температурой выше комнатной обосновали лауреат Нобелевской премии В.Л.Гинзбург [1] и В.Литтл [2]. После этого исследователи с энтузиазмом принялись за поиски ВТСП-материалов.

По современным представлениям, сверхпроводимость обус-



Сергей Григорьевич Лебедев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института ядерных исследований РАН. Область научных интересов — магнитные явления и сверхпроводимость в тонких пленках.

ловлена «связыванием» отдельных электронов в куперовские (по имени первооткрывателя Л.Купера) пары через цепочку атомов кристаллической решетки. Электроны как бы постоянно дергают за цепочку, согласуя свое движение с напарником. При этом пара электронов движется в кристаллической решетке как единое целое и не рассеивает своей энергии. Чем выше частота обменов «рывками», тем сильнее электроны связаны в пары и тем выше температура разрушения сверхпроводящего состояния. Замечено, что «частота рывков» выше в материалах с высокой температурой плавления, таких как углерод с его большим разнообразием химических и структурных модификаций. Поэтому углерод и его соединения одними из первых «попали под подозрение». Известный польский ученый К.Антонович (1914—2002) более 30 лет назад исследовал проводящие свойст-

ва стеклоуглерода [3] и его напыленных осадков [4] и обнаружил эффект скачка проводимости до трех порядков величины. Изменение проводимости было обратимым, а время релаксации составляло несколько дней. В дальнейшем Антонович выявил увеличение тока при микроволновом облучении Al—C—Al сэндвича [5]. Правда, изменение тока происходило с задержкой после облучения СВЧ в течение 100 мин. На первый взгляд такие «времена задержки» представляются весьма странными с точки зрения электронных механизмов. Тем не менее Антонович объяснил наблюдаемые эффекты сверхпроводимостью при комнатной температуре [6].

Автор данной статьи долгое время изучал применение тонких углеродных пленок в качестве перезарядных мишеней для ускорителей ионов. Была разработана физическая модель разрушения углеродных мишеней

в пучках ионов. В соответствии с ней в основе механизма лежит накопление и отжиг подвижных точечных радиационных дефектов – междоузлий. Накопление этих дефектов создает механические напряжения в тонкой углеродной пленке, которая разрушается, когда напряжения превысят предел прочности материала на разрыв [7]. В дальнейшем с помощью разработанной модели исследовалось влияние микроструктуры пленки и различий в условиях ее осаждения на сроки службы под облучением ионами [8–10]. Результаты были проверены экспериментально на ускорителях в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (Дубна), Института теоретической и экспериментальной физики (Москва), Института физики высоких энергий (Протвино). В ходе этих работ возник интерес к электромагнитным свойствам пленок.

Странный электромагнетизм

Изучая проводящие свойства углеродных пленок, полученных распылением графита в электрической дуге, мы обнаружили скачок сопротивления на четыре-пять порядков величины при некотором критическом токе [11] (рис.1). Потом, с задержкой, наступала релаксация проводимости. Все происходило, как в опытах Антоновича, но результаты его исследований стали известны нам лишь много лет спустя. При сходстве исследуемых эффектов и подобии структуры образцов направление наших исследований, их результаты и выводы в значительной мере отличались от тех, что были получены Антоновичем. При комнатной температуре критический ток менялся в пределах 5–500 мА в зависимости от типа конденсата и условий отжига образцов. С понижением температуры величина критического

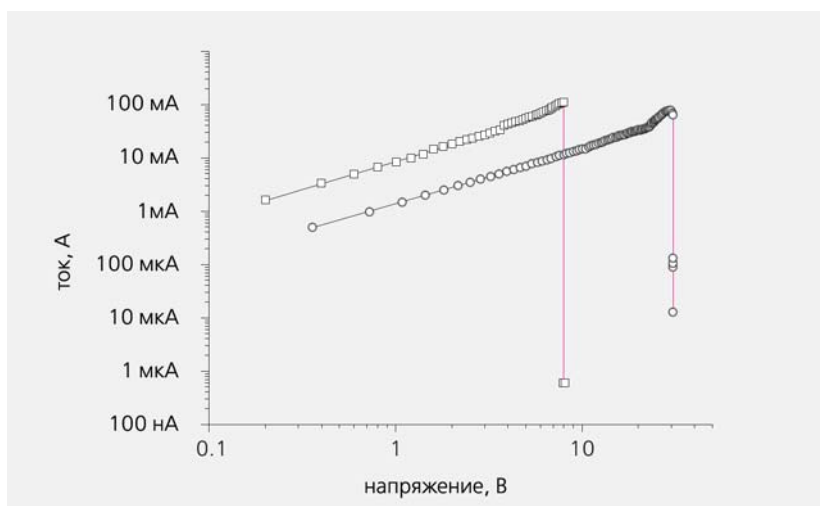


Рис.1. Вольт-амперные характеристики электронного бесконтактного выключателя при двух вариантах переключения — ручной (квадратики) и программной (кружки) регулировке подачи тока на образец. Время выключения составляет 1 нс. Видно, что электросопротивление образца в процессе переключения увеличивается на четыре-пять порядков.

тока увеличивалась. После релаксации низкое сопротивление полностью восстанавливалось, так что образцы можно было использовать для переключений многократно. Измеренное нами время переключения (определенное как длительность фронта нарастания сигнала) такого бесконтактного выключателя (рис.2) составляло 1 нс. Это исключает тепловой механизм переключения.

Сочетание столь быстрого переключения с длительной релаксацией можно объяснить наличием джозефсоновских вихрей, открытых в свое время нашим соотечественником, лауреатом Нобелевской премии А.А.Абрикосовым, работающим теперь в США, в Аргоннской национальной лаборатории. Эти вихри представляют собой цилиндрические образования, ограниченные сверхпроводящими

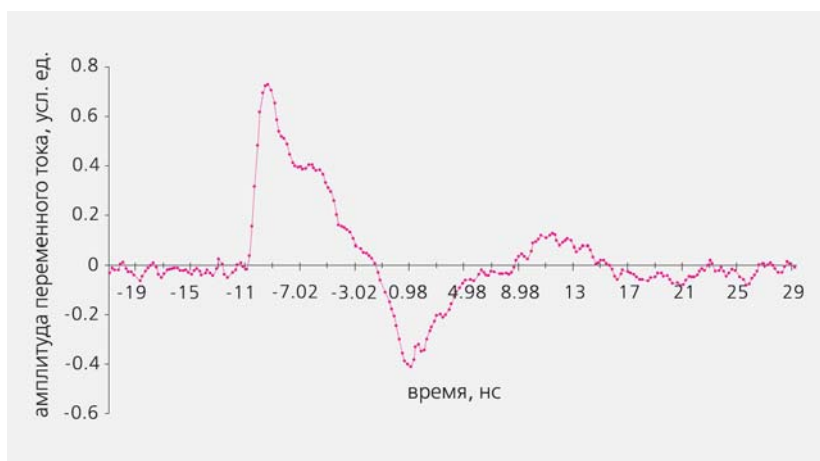


Рис.2. Время срабатывания джозефсоновского выключателя на основе углеродной пленки. Время определено как длительность фронта нарастания пика в левой части рисунка.

токама, внутри которых находится ядро нормальной фазы с разрушенной сверхпроводимостью. Каждый вихрь несет в себе один квант магнитного потока. Вихри проникают в пленку через границы извне и могут мигрировать под действием электрических и магнитных полей, а также «зацепляться» за всевозможные дефекты и неоднородности, которых всегда предостаточно внутри пленки. Условия проникновения зависят от величин магнитного и электрического полей. Чем выше величина магнитного поля, тем меньше размер образующихся вихрей и тем легче они проникают и перемещаются в пленке. Приложенное электрическое поле «выталкивает» вихри из пленки. Поэтому длительные времена релаксации проводимости после переключения могут быть связаны с медленным вхождением вихрей в пленку. В то же время приложение достаточно большого электрического напряжения нейтрализует влияние закрепляющих барьеров и заставляет вихри быстро покидать пленку. Фактически высокая проводимость углеродной пленки определяется движением вихрей под действием приложенного напряжения.

Другая интересная особенность углеродных пленок — появление постоянного напряжения на контактах при облучении радиоволнами, т.е. детектирование СВЧ-излучения. Подобный эксперимент в простейшей форме также был впервые выполнен Антоновичем. Однако и об этом мы тоже ничего не знали и потому проводили свой эксперимент принципиально иначе и использовали технику и представления, которые отсутствовали 30 с лишним лет назад. Антонович рассматривал пленку как единый джозефсоновский контакт и наблюдал изменения вольтамперной характеристики Al-C-Al-сэндвича под действием микроволнового излучения. Джозефсоновский контакт (ДК) образуется между дву-

мя сверхпроводниками, разделенными тонкой прослойкой изолятора или нормального металла. При токах ниже критического куперовские пары могут туннелировать из одного сверхпроводника в другой практически без разрушения, и ДК ведет себя как сверхпроводник. Иными словами, при протекании тока ниже критического значения напряжение на контакте отсутствует. Но когда ток достигает критического значения, куперовские пары разрушаются в прослойке между двумя сверхпроводниками. Разрушение каждой пары связано с испусканием светового кванта, частота которого ν зависит от энергии связи E_b электронов в куперовской паре: $E_b = h\nu$, где h — постоянная Планка. Такой процесс называется нестационарным эффектом Джозефсона и объясняет испускание светового излучения ДК. Известен и обратный эффект Джозефсона — наведение на ДК постоянного напряжения при облучении его светом. Именно обратный эффект активно используется при исследовании как отдельных ДК, так и их объединений — джозефсоновских сред (ДС). 30 лет назад представления о них еще не были развиты.

Когда была изучена структура углеродных пленок, стало ясно, что они представляют собой конгломераты из графитоподобных нанокластеров-гранул, введенных в «матрицу» из аморфного углерода [12]. Следовательно, соседние гранулы, разделенные изолирующей прослойкой аморфного углерода, образуют ДК. Электрические свойства подобных гранулярных пленок очень напоминают поведение ДС. Поэтому мы изначально предположили, что в пленках существует джозефсоновская среда. Свою задачу мы видели в том, чтобы доказать ее наличие. В настоящее время методология идентификации ДС достаточно хорошо разработана. Успехи в этом направлении в значительной мере были до-

стигнуты благодаря изучению новых высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), которые, как известно, представляют собой именно джозефсоновские среды. Выяснилось, что при микроволновом облучении ДС на контактах наводится постоянное напряжение, т.е. возникает обратный эффект Джозефсона. Это напоминает диодное выпрямление переменного тока, но принципиально отличается от него.

Чтобы однозначно идентифицировать ДС, необходима не только методика разделения обратного эффекта Джозефсона и диодного выпрямления, но и отбраковки термоэдс и других побочных явлений. Такую методику разработал Дж.Чен с коллегами [13]. Они исследовали нестабильную примесь сверхпроводящей фазы с критической температурой 240 К, содержащуюся в образце ВТСП-керамики с критической температурой 90 К. В результате была досконально изучена реакция ДС на СВЧ-излучение, зависимость от температуры, частоты и амплитуды СВЧ-сигнала. Благодаря методике удалось доказать наличие ВТСП-фазы с $T_c = 240$ К, что значительно превышает достигнутый на сегодня температурный предел в 130 К. Мы применили эту методику для исследования предполагаемой ВТСП-фазы в углеродных пленках. В ходе экспериментов были воспроизведены все характерные реакции ДС и тем самым обосновано ее существование в углеродной пленке. Критическая температура ВТСП-фазы определяется как точка обращения в нуль постоянного напряжения V_{dc} , наведенного на контактах при микроволновом облучении. На графике зависимости V_{dc} от температуры в углеродной пленке (рис.3) можно видеть, что T_c составляет 650 К.

Наблюдаемое поведение очень напоминает «горячую» сверхпроводимость. Однако возникает вопрос: почему же тогда углеродные пленки имеют ко-

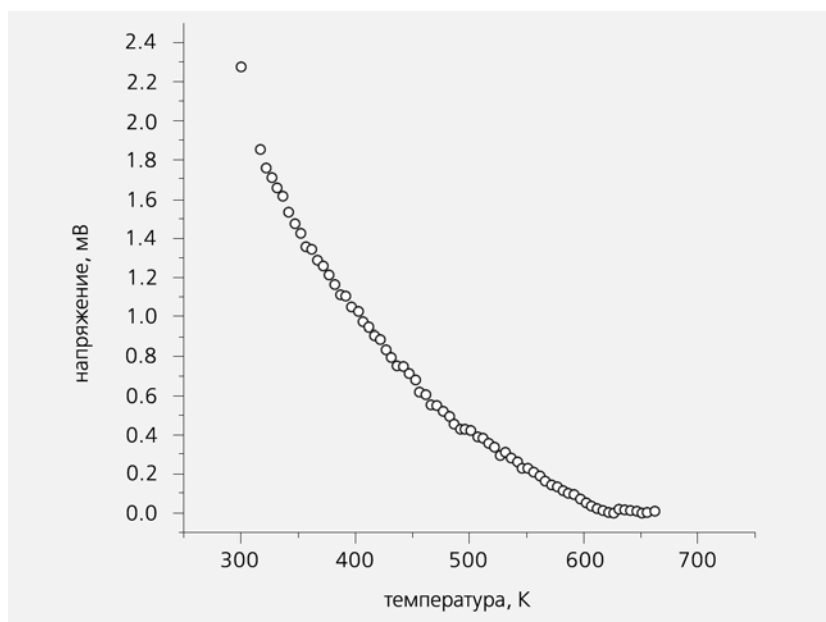


Рис.3. Зависимость амплитуды наведенного постоянного напряжения под действием микроволнового облучения от температуры образца. Амплитуда обращается в нуль при температуре 650 К.

нечное сопротивление? Дело в том, что сверхпроводящие системы не всегда могут приобретать общее нулевое сопротивление или, говоря точнее, состояние «общей фазовой когерентности». Оно становится возможным, когда сопротивление пленки в нормальном состоянии (т.е. при температуре выше критической) меньше характерной величины $RQ = 7$ кОм. А нормальное сопротивление пленки составляет десятки мегом. По-видимому, СП-фаза занимает лишь небольшую часть объема пленочного образца, что может объяснить его конечное сопротивление. А есть ли основания предполагать, что сверхпроводимость возможна в наноразмерных графитовых гранулах? Оказывается, есть. В.Л.Гинзбург предсказал возможность сверхпроводимости в сэндвичах, составленных из высокопроводящей фазы, окруженной диэлектриком с высокой диэлектрической проницаемостью ϵ [14, 15]. Как упоминалось, в углеродной пленке гра-

фитовые гранулы погружены в матрицу аморфного углерода. По нашим оценкам, диэлектрическая проницаемость в графитовых зернах гранул составляет $\epsilon = 15$ [16] (обычно это значение порядка единицы). И это позволяет рассматривать гранулированные углеродные пленки в качестве прямого воплощения идеи Гинзбурга.

Магнитные свойства углеродных пленок

Детектирование СВЧ в пленочных образцах — лишь одна иллюстрация реальности ДС. Другие свидетельства джозефсоновского поведения пленок проявляются в их магнитных свойствах. Измерения намагниченности образцов с малой примесью сверхпроводящей фазы — очень трудоемкая задача, справиться с которой под силу только таким высокочувствительным приборам, как СКВИД (Superconducting Quantum Interference Device — SQUID)-магнетометр.

Действие этого прибора основано на интерференции слабых магнитных потоков образца с известным магнитным потоком в сверхпроводящем кольце, в которое включен джозефсоновский контакт. Как говорится, подобное измеряем подобным. Ведь джозефсоновская интерференция позволяет измерять величины магнитных потоков, сравнимых по величине с квантом магнитного потока $\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-7}$ Гс·см². Эта величина имеет размерность магнитного поля, умноженного на площадь. Если площадь вихря составляет 1 см², то он несет магнитное поле $2 \cdot 10^{-7}$ Гс. Для сравнения: магнитное поле Земли составляет 0.5 Гс, а постоянного магнита — до 10^4 Гс. Предположив, что размер вихря равен 0.1 мкм, получим магнитное поле в $2 \cdot 10^3$ Гс.

СКВИД-магнетометр — очень дорогой прибор, поэтому их число в мире невелико, и провести измерения с помощью СКВИДа — большая удача и доверие. Нам повезло: удалось провести подобные измерения в Лаборатории сверхпроводимости и магнетизма Лейпцигского университета (Германия). Параллельно со СКВИД-измерениями углеродные пленки изучались в магнитном силовом микроскопе (MFM). Данный прибор, также чрезвычайно дорогостоящий, характеризуется тем, что он одновременно позволяет увидеть как магнитные, так и топологические кластеры в пленке.

С помощью СКВИД-магнетометра мы обнаружили осцилляции намагниченности образца в области магнитных полей 10^4 – $5 \cdot 10^3$ Гс [17] (рис.4). Величина магнитного поля, соответствующая скачкам намагниченности, а также их амплитуда зависят от температуры (см. рис.4). Каждая осцилляция связана с увеличением магнитного потока в кластере на один квант магнитного потока Φ_0 . Используя данные измерений, мы определили размеры магнитных кластеров: они составляли 0.1 мкм. Это означает, что клас-

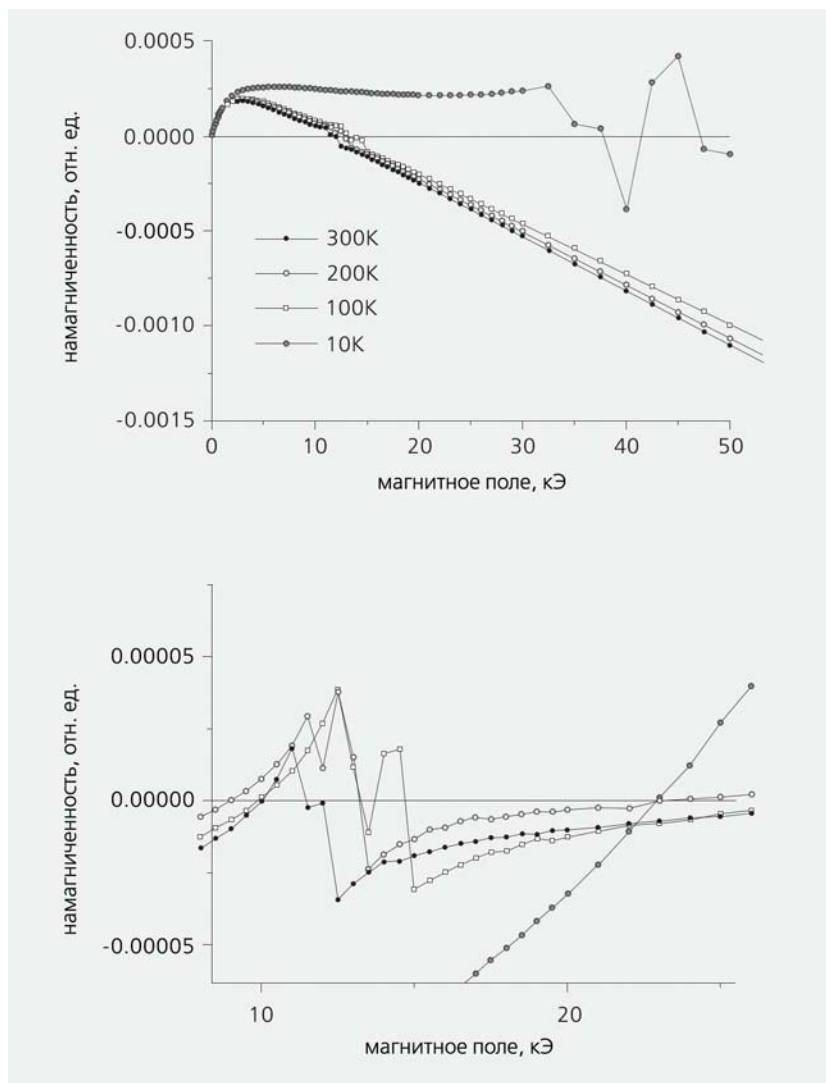


Рис.4. Осцилляции намагниченности образца в зависимости от приложенного магнитного поля при разных температурах. Вид графика обусловлен действием трех факторов: из-за ферромагнитных примесей возникает изначальный «холм», затем за счет естественного диамагнетизма графита намагниченность линейно уменьшается, и на этом фоне возникают скачкообразные осцилляции, связанные с вхождением квантов магнитного потока в магнитные кластеры. Внизу показана область осцилляций намагниченности «под микроскопом». Видно, что пики осцилляций смещаются по величине магнитного поля, а амплитуды осцилляций уменьшаются по мере роста температуры.

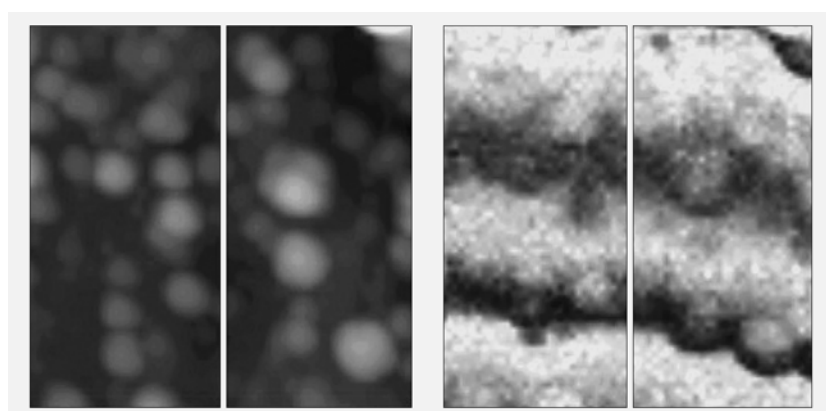


Рис.5. Одновременное изображение поверхности углеродной пленки в оптическом (слева) и магнитном микроскопе (справа). Видны корреляции в положении по крайней мере некоторых магнитных и топологических кластеров. Вдоль границ магнитных кластеров четко заметны циркулирующие токи, которые на фото выглядят как темные полосы вдоль цепочки кластеров и напоминают огромные валуны в горной реке, если смотреть на нее с высоты птичьего полета.

теры в углеродной пленке состоят примерно из 100 элементарных гранул. В магнитном силовом микроскопе мы увидели магнитные кластеры и определили их средний размер, составивший 0.16 мкм. Это достаточно хорошо совпадает с величиной, определенной в СКВИД-измерениях. Сравнив магнитную и оптическую «картинки», мы заметили, что, по крайней мере, некоторые магнитные кластеры совпадают с топологическими (рис.5). Хорошо различимы на снимках токи обтекают границы кластеров, которые напоминают магнитные вихри. На самом ли деле видимые в магнитном силовом микроскопе кластеры являются магнитными вихрями? Пока это точно не известно, проверка требует нового цикла магнитных измерений.

Громадьє планов

В дальнейших исследованиях мы возлагаем большие надежды на легирование углеродных пленок с целью увеличения их проводимости. Возможно, это позволит достичь состояния с нулевым сопротивлением при ком-

натных температурах, а может быть, и выше. Другое перспективное направление — поиск оптического излучения, вероятно, испускаемого пленкой в момент переключения из состояния с высокой проводимостью в состояние с высоким сопротивлением. Ведь если мы имеем дело с джозефсоновской средой, то в момент разрушения сверхпроводимости следует ожидать джозефсоновского излучения с характерной частотой, определяемой энергией связи куперовских пар. Для сверхпроводника с критической температурой 650 К нужно искать инфракрасное излучение с длиной волны в несколько микронетров. Первые попытки зарегистрировать его с помощью быстрого высокочувствительного фотодиода оказались обнадеживающими: удалось зафиксировать серию оптических импульсов в ожидаемом диапазоне, т.е. во временной окрестности вблизи скачкообразного изменения проводимости (рис.6). Их величина значительно превышает уровень «подложки», так что вводит фотодиод в состояние насыщения. Однако длительность импульсов существенно превышает ожидаемое значение в 1 нс. Кроме того, «рождается» не один, а несколько импульсов, что связано, по-видимому, с «многоступенчатой» генерацией за счет постепенного «выключения» отдельных сверхпроводящих кластеров. В таком случае переключение также должно быть ступенчатым, а общая длительность процессов переключения и излучения вполне может составить сотые доли секунды (см. рис.6). Расплывание импульса излучения относительно исходной наносекундной ширины импульса переключения связано с затратами времени на «высвечивание» и распространение оптического импульса в пленке и подложке.

Мы продолжаем исследовать джозефсоновскую среду в углеродных пленках и одновременно размышляем о возможных

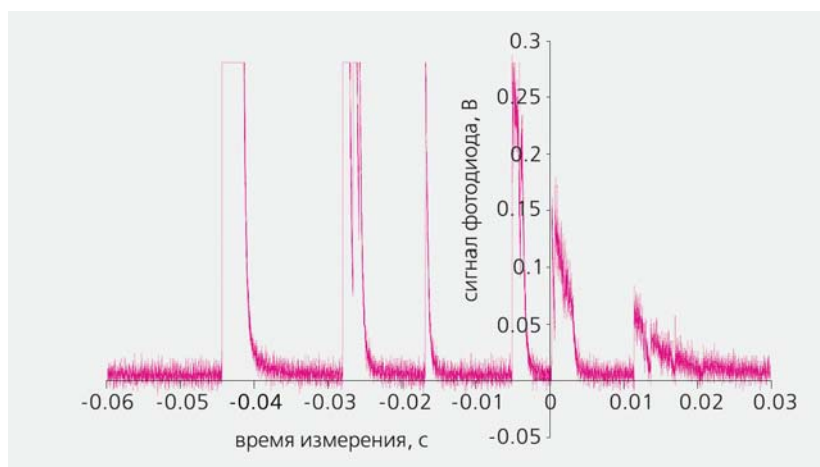


Рис.6. Генерация оптического излучения во временной окрестности вблизи скачкообразного изменения проводимости. Видно, что генерация происходит многоступенчато в течение нескольких импульсов, амплитуды которых уменьшаются по мере завершения процесса. По оси ординат отложено напряжение, наведенное на фотодиоде оптическим излучением пленки.

применениях уже полученных результатов. Существование ДС при комнатных температурах открывает перспективу создания различных приборов некриогенной джозефсоновской электроники [18].

Одно из подобных приложений — бесконтактный полевой выключатель (см. рис.1). Внедрение таких выключателей существенно повысит безопасность в электрических сетях и защищенность от помех. В США в течение длительного времени разрабатывается подобный полевой выключатель на основе фуллеренов [19], однако он требует охлаждения жидким гелием.

Другим интересным применением может быть джозефсоновский детектор γ -излучения для регистрации нейтрино и темной материи [20, 21].

Можно создать генераторы и детекторы СВЧ-излучения. Однако прежде следует проанализировать, будут ли они иметь какие-либо преимущества по сравнению с существующими.

Интересным представляется использование гранулярных углеродных пленок в качестве магнитной защиты. Воздействие электрического тока разрушает

магнитные вихри в пленке. Возврат в высокопроводящее состояние происходит при накачке вихрей извне с «поглощением» магнитных полей из окружающего пространства. Облицовка углеродной пленкой стен, потолка и пола помещений с повышенными требованиями по магнитной защите позволила бы контролировать и предотвращать проникновение магнитных полей, измеряя сопротивление отдельных участков покрытия.

Оптическое излучение пленок при скачкообразном переключении проводимости открывает еще одну возможность — конструирование нового типа лазеров на магнитных вихрях. Мощность подобного лазера может оказаться весьма значительной. Как показывают наши эксперименты, в момент переключения мощность, развиваемая током, составляет несколько Ватт. В результате скачка сопротивление пленки за 1 нс увеличивается в 10 тыс. раз, т.е. пленка превращается практически в изолятор. Куда же девается вся мощность в несколько Ватт того постоянного тока электронов, которые еще 1 нс назад мчались с огромной ско-

ростью? Это напоминает краш-тест автомобиля, когда с целью проверки подушки безопасности он на полной скорости врежется в бетонную стену. По-видимому, вся исчезнувшая мощность высвечивается в виде нескольких импульсов излучения длительностью в 1 нс каждый, и мы получаем импульсную мощность лазера на магнитных вихрях порядка 1 ГВт.

Интересным приложением может оказаться покрытие углеродной пленкой внутренней поверхности резонаторов для ускорителей элементарных частиц, а также систем СВЧ-транспортировки электроэнергии с целью уменьшения потерь, и создание ВТСП-проводов для мощных сверхпроводящих некриогенных магнитов. Технология нанесения углеродных пле-

ночных покрытий из газовой фазы легко позволяет это сделать. Более того, этот процесс без особых проблем можно автоматизировать, контролируя качество покрытия по электросопротивлению.

Все перечисленное позволяет надеяться, что гранулярным углеродным пленкам уготовано светлое будущее в энергетике и электронике. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-08-17909-а.

Литература

1. Гинзбург ВЛ. // ЖЭТФ. 1964. Т.47. С.2318—2327.
2. Little W.A. // Phys. Rev. 1964. V.134. PA1416—A1424.
3. Antonowicz K. et al. // Carbon. 1973. V.11. P.1—5.
4. Antonowicz K. et al. // Carbon. 1972. V.10. P.81—86.
5. Antonowicz K. // Phys. Status. Solidi (a). 1975. V.28. №2. P.497—502.
6. Antonowicz K. // Nature. 1974. V.247. P.358—360.
7. Koptelov E.A., Lebedev S.G., Panchenko V.N. // Nucl. Instr. Meth. 1987. V.A256. P.247—250.
8. Koptelov E.A., Lebedev S.G., Panchenko V.N. // Nucl. Instr. Meth. 1989. V.B42. P.239—244.
9. Lebedev S.G. // Nucl. Instr. Meth. 1994. V.B85. P.276—280.
10. Lebedev S.G. // Nucl. Instr. Meth. 1995. V.A362. P.160—162.
11. Лебедев С.Г., Топалов С.В. // Краткие сообщения по физике ФИАН. 1994. №11—12. С.57—64.
12. Lopinski G.P. et al. // Phys. Rev. Lett. 1998. V.80. P.4241—4250.
13. Chen J.T. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.1972—1975.
14. Гинзбург ВЛ. // УФН. 1968. Т.95. С.91—99.
15. Гинзбург ВЛ. // УФН. 1991. Т.169. С.25—34.
16. Lebedev S.G. // ArXiv:cond-mat/0510304
17. Lebedev S.G. // Nucl. Instr. Meth. 2004. V.A521. P.22—29.
18. Лебедев С.Г. Патент РФ №2212735, 2003.
19. Schön J.H., Kloc Cb., Haddon R.C., Batlogg B. // Science. 2000. V.288. P.656—659.
20. Da Silva A. et al. // Proc. Of Workshop on Low Temperature Detectors for Neutrinos and Dark Matter II. France, 1988. P.417-432.
21. Beck C., Mackey M.C. // ArXiv:astro-ph/0406504.

Исследования, в которых рыжегорлых колибри (*Selasphorus rufus*) кормили нектаром сахарного тростника, помеченным ¹³C, показали: необходимая для порхания энергия у этих птиц на 90% обеспечивается сахаром. Такой метаболизм уникален — например, человек при езде на велосипеде за счет сахара покрывает только 15—30% своих энергетических потребностей.

Science et Vie. 2006. №1071. P.24 (Франция).

Приблизительно 20 тыс. лет назад Ла-Манш представлял собой реку, пресные воды в которую поступали за счет таяния ледниковых покровов Фенноскандинавского щита, а уровень моря тогда был на 130 м ниже современного. К такому выводу по материалам детального анализа донных осадков пришла группа французских и нидерландских исследователей.

Sciences et Avenir. 2006. №716. P.18 (Франция).

Специалисты из Даремского университета (Великобритания) обнаружили на Кипре мышей вида *Mus cypriacus*, которые, как ранее считалось, вымерли несколько тысячелетий назад, вскоре после заселения острова людьми. Голова, глаза, уши и зубы у живого ископаемого крупнее, а хвост длиннее, чем у привычной нам домовый мыши.

Science et Vie. 2006. №1071. P.28 (Франция).



Сухой закон для поселка и джин для Председателя

А.И.Козлов

О пьянстве и алкоголизме в среде коренных народов Арктики и Дальнего Востока наслышаны, наверное, все. Однако оценить масштабы этой проблемы с медико-статистической стороны непросто. Несовпадения и прямые противоречия имеющихся данных — следствие не только недостаточного развития наркологической службы в северных регионах, несовершенного учета и слабости диагностики. Они отражают и реальные сложности в исследовании алкогольной ситуации.

Трудно оценить даже главный показатель, обычно используемый в подобного рода исследованиях, — уровень потребления алкоголя. В советский период ориентировались на потребление алкоголя из государственных ресурсов, но с 1992 г. после отказа государства от монополии на производство и продажу алкоголя показатели сбыта спиртных напитков, особенно на Севере, к надежной статистике отнести нельзя.

Другой широко используемый критерий — связанная с алкоголем смертность. Но и без того невысокая точность российской медицинской статистики на Севере еще более снижается из-за малой численности аборигенного населения, когда каждый случай заболевания приобретает значительный статистический «вес».



Андрей Игоревич Козлов, доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института возрастной физиологии РАО и кафедрой экологии человека МНЭПУ (Москва). Член правления Международной сети исследований здоровья в приполярных регионах (INCHR, Торонто, Канада). Область научных интересов — медицинская антропология, антропология питания, популяционная генетика. Автор и соавтор 75 научных публикаций, в том числе семи монографий.

Учет потребления алкоголя с помощью опросов населения также имеет ряд ограничений. Точность этого метода вообще невысока; к тому же представители разных культур относятся к спиртным напиткам по-разному. В европейских обществах пристрастие к алкоголю часто скрывается. Индейцы и эскимосы американского Севера, напротив, склонны завышать количество выпитого, стремясь поддерживать устойчивый стереотип «аборигена под хмельком» [1]. Подобная этнокультурная специфика может существенно исказить реальную картину и в обществах коренных северян Российской Федерации.

Но как бы несовершенна ни была статистика, несомненно, что потребление алкоголя северными аборигенами России очень высоко. Экспертные

оценки относительно ситуации в различных регионах (Чукотке, Якутии, Бурятии, Мурманской и Сахалинской областях) весьма близки. В качестве примера приведем данные по одному только Чукотскому автономному округу. Интересующие нас материалы Института терапии СО РАМН получены в период, когда еще можно было ориентироваться на потребление алкоголя из государственных ресурсов. Так вот, в 1991 г. у чукчей и азиатских эскимосов средняя разовая доза приема алкогольных напитков составила 177.6 г у мужчин и 74.3 г у женщин [2]. С учетом частоты употребления спиртного подсчитали, что в среднем за год на одного аборигена Чукотки приходится приблизительно 6 л алкоголя (в пересчете на чистый спирт). При этом в целом по округу че-

рез торговую сеть продали по 4.5 л чистого спирта на душу населения. Значит, на одного условного аборигена приходилось как минимум на четверть больше выпитого спирта, чем на среднестатистического жителя округа. На самом деле разница еще значительнее: по мере роста условной «доли аборигена» объем алкоголя, приходящегося на остальных жителей Чукотки, уменьшается.

Упомянутое исследование проводилось в период антиалкогольной кампании 1985—1991 гг., поэтому указанные объемы потребляемых спиртных напитков не так уж высоки. Действительно, в период свободной доступности спиртного, в 1980 г., среднестатистический житель Чукотки за год выпил существенно больше, т.е. 15 л чистого спирта, в полтора раза превысив этот показатель по РСФСР — 10.5 л [8].

Приведенные цифры относятся к временам давним, но за прошедшие годы ситуация изменилась, к сожалению, не в лучшую сторону. Соотношения в потреблении алкоголя между представителями разных географических (Россия/Север) и этнических групп (приезжие/аборигены) остались без изменений, а вот общее количество выпиваемых спиртных напитков (в пересчете на чистый спирт) существенно возросло [4]. С 1980 по 1999 г. среднестатистическое потребление спиртного в Российской Федерации увеличилось с 10.5 до 14.5 л. Ориентируясь на эти показатели, можно ожидать, что алкоголизация населения северных регионов, в особенности аборигенных общин, достигла ужасающих масштабов.

Огромную проблему представляет пьянство женщин-северянок, среди которых доля пьющих практически так же велика, как и среди мужчин [5]. В результате дети и подростки воспринимают алкогольное поведение членов семьи как обычное, злоупотребление спирт-

ным становится естественной составляющей образа жизни. Так, судя по результатам опроса, проведенного сотрудниками Кольского медицинского колледжа, половина учащихся саамов и коми-ижемцев не видит в бытовом пьянстве ничего плохого. Причем каждый пятый из них употребляет алкоголь хотя бы раз в неделю, а то и чаще. Последствия такого отношения к спиртному поистине катастрофические.

Алкогольный урон коренному населению высоких широт значительно превышает потери даже живущих рядом представителей других этнических групп. Согласно нашим оценкам, злоупотребление спиртным стало причиной 29.3% всех смертей хантов и манси Березовского р-на Ханты-Мансийского АО и 15.3% русских жителей тех же поселков [6]. Отравления, травмы, самоубийства и болезни сердца, последовавшие в результате пьянства, вызвали в полтора раза больше смертей среди чукчей и эскимосов, чем среди некоренных жителей Чукотки — 195.8 и 284.9 смертей на 1000 умерших [7].

Как уже упоминалось, женщины-северянки почти не отстают от мужчин в пристрастии к спиртному. Это отражается и в специфике алкогольных потерь. Смертность от алкоголя женщин ханты и манси в пять раз выше, чем у соседок-русских (соответственно 15.2 и 3.5%). Алкогольные потери среди женщин коренного населения Чукотки в 1980—1994 гг. также в среднем в 2.3 раза превышали показатель, вычисленный для всех женщин округа. В 1994 г. алкоголь стал причиной 18.8% смертей всех женщин Чукотского АО и 42.2% смертей коренных северянок [8].

Видимо, причины высоких алкогольных потерь среди аборигенных женщин (почти столь же высоких, как и у мужчин) можно объяснить традициями арктических культур. Коренные северянки из-за сравнительно

недавнего знакомства со спиртным не считают его употребление столь «заворным», как женщины в славянском или европейском обществе. Отсутствие культурной защиты от влияния алкоголя, подобной той, что веками складывалась в «земледельческих» регионах планеты, в наши дни обернулось еще одним тяжелым ударом по общинам арктических аборигенов.

Каковы же причины употребления алкоголя, приводящего к столь страшным последствиям? Для человека, оказавшегося в стрессовой ситуации, обусловленной повсеместным на Севере крушением исконного образа жизни, естественно желание снять эмоциональное напряжение. У коренных северян специфические формы психотерапевтической коррекции выработались еще в древности: это разнообразные календарные праздники, ритуалы, в том числе связанные с традиционной религией — шаманизмом. Однако в советское время они были либо искоренены, либо деформированы настолько, что реально своей функции выполнять не могли. Возникший почти 400 лет назад и становившийся все более интенсивным контакт коренных северян с алкоголем привел к тому, что в последние полвека спиртное воспринимается ими как основной, зачастую единственный способ избавиться от душевного дискомфорта.

К сожалению, представление о «традиционности» употребления алкоголя северянами поддерживают, сами того не желая, даже врачи-наркологи. В России распространена так называемая η(эта)-форма алкогольной зависимости, при которой употребление спиртного оправдывается, зачастую очень утрированно, национальными обычаями (кто не слышал сакраментального вопроса: «Ты что от водки отказываешься — не русский, что ли?»). Идеи о традиционности снятия напряжения с помощью алкоголя

переносятся наркологами и на коренных северян. Основания для таких выводов, на первый взгляд, есть. У аборигенов опьянение часто сочетается с обманом восприятия, напоминающим погружение в транс. Для наблюдателя, принадлежащего к европейской культуре, это может выглядеть как элемент древних обычаев общения с духами. Проблема, однако, в том, что правомерность распространения η -формы зависимости от алкоголя на коренных северян не только не доказана, но даже толком не изучалась. Так что от упоминания об этнических традициях употребления алкоголя северянами лучше воздержаться.

Медико-биологические аспекты проблемы

Широко распространено мнение, будто коренные северяне генетически предрасположены к развитию алкоголизма. Из этого обычно делают вывод, что ничего уж тут не поделаешь, разве что силовыми методами: сухой закон вводить в поселках или запрещать продажу спиртного по этническому признаку. В конце 1980-х подобные меры практиковались. В поселках, имевших статус «национальных», продажа водки и широко распространенного на Севере 95-градусного питьевого спирта была ограничена: алкоголь завозили один-два раза в месяц. Беда в том, что «пьяные дни», следовавшие за этими завозами, и обеспечивали едва ли не большую часть печальной статистики алкогольных отравлений, убийств, самоубийств и несчастных случаев в состоянии опьянения. В общем, вводимый сверху сухой закон для поселков себя не оправдывал.

Но верна ли предпосылка? Как насчет генетической предрасположенности? Действительно, некоторые элементы сложной схемы метаболизма спирта (этанола) в организме

человека находятся под генетическим контролем. Наиболее изучены в этом отношении два этапа переработки этанола в печени. На первом, проходящем под действием фермента алкогольдегидрогеназы, спирт превращается в токсичный ацетальдегид. Скорость работы алкогольдегидрогеназы определяет аллель *ADH1B*47His*. Второй этап — расщепление ацетальдегида. Если ферменты второй группы работают медленно (это обеспечивает аллель *ALDH2*2*), в организме за короткое время скапливается большое количество токсинов. Развиваются признаки отравления: головокружение, учащенное сердцебиение, потливость, тошнота и покраснение кожи лица (характерное внешнее проявление, по которому весь комплекс симптомов и получил название флэш-реакции, «вспыхивания»). Главный эффект флэш-реакции — чувство дурноты, заставляющее многих (к сожалению, не всех — человек, он все превозмогает...) прекратить дальнейший прием спиртного.

Несколько утрируя, можно сказать, что сочетание аллелей *ADH1B*47His* и *ALDH2*2* определяет степень «противности» алкоголя для конкретного человека. У представителей различных этнических и расовых групп их частоты существенно различаются. Комплексная флэш-реакция наиболее характерна для народов Юго-Восточной Азии — японцев, китайцев, корейцев, среди которых до 76% — носители аллеля *ADH1B*47His*, и 24—35% — *ALDH2*2*. В обществах с распространенной η -формой алкогольной зависимости о таких народах сложилось вполне определенное представление: «люди там ничего, душевные, но в питье слабы». Действительно, объемы потребления спиртного в странах Восточной Азии существенно ниже, чем в Европе, где аллель *ALDH2*2* почти не встречается, а частоты *ADH1B*47His* варьируют от 0 (коми) до 1—10% (финны, шве-

ды, русские), лишь в редких группах достигая 18% (чуваши).

Разумеется, и в популяциях с высоким носительством интесурующих нас аллелей часть индивидов устойчива к действию алкоголя. Таким сочетанием редкого для китайцев генотипа с «атипичным флэшингом» отличался, видимо, Мао Цзэдун: его способность выпить гораздо больше, чем обыкновенный человек, производила на окружающих сильное впечатление. Наверное, неспроста американские журналисты, направляясь в 1940-х годах в «Особый район Китая», везли товарищу Председателю бутылки с голландским джином...

Генетический контроль метаболизма этанола и межэтнические различия частот соответствующих генов стали активно обсуждать более 30 лет назад [10]. Почти сразу решили, что азиатские частоты аллелей характерны и для коренных народов Севера. Предположение, в общем, логичное: чукчи, эскимосы, ненцы относятся к монголоидной расовой группе, как и китайцы. В популярных изданиях такая точка зрения прочно укоренилась, а слова о «генетической детерминированности метаболизма этанола» стали понимать как синоним «предрасположенности к алкоголизму». Этого было достаточно, чтобы в европейском обществе сложилась очерненная легенда о северных аборигенах.

Справедлива ли она? Видимо, нет. Прежде всего, как мы видели, специфическое для южных азиатов соотношение аллелей отнюдь не определяет тяги к алкоголю — скорее наоборот, оно обеспечивает защиту от чрезмерного употребления спиртного. Во-вторых, как показывают исследования, в том числе и наши, у коренных жителей Арктики частоты аллелей *ADH1B*47His* и *ALDH2*2* вовсе не азиатские. Напротив, они практически не отличаются от характерных для популяций Центральной и Северной Европы [9]. Аллель

*ALDH2*2* у северян отсутствует, а концентрация *ADH1B*47His* у чукчей и эскимосов достигает лишь 2–3%.

Таким образом, если основываться на чисто генетической стороне вопроса, правильное всего заключить, что коренные северяне не имеют специфической генетической защиты от алкоголя — так же как русские, коми, финны «и прочие разные шведы». Однако определенной спецификой биохимических процессов усвоения алкоголя коренные жители высокоширотных регионов действительно отличаются. Метаболизм этанола у них замедлен, его концентрация дольше остается высокой, превышающей нормальный для европейцев уровень [10].

Стройной концепции, объясняющей этот феномен, до сих пор нет. К распространенным в 1970-х годах идеям относительно роли эндогенного этанола, вырабатываемого самим организмом (вернее, обитающими в кишечнике человека бактериями), сегодня многие специалисты относятся с осторожностью. Но на данные, свидетельствующие о возможной связи обмена спиртов с характерным для коренных северян белково-жировым типом питания, обратить внимание следует. Дело в том, что поступление в кровь пищевых жиров запускает цепочку биохимических реакций, в результате которых в крови понижается содержание гормонов стресса — кортикостероидов. Таким образом, традиционный для северян белково-липидный рацион обладает антистрессовым действием [11], а отказ от него может усилить тягу к алкоголю. Снижение количества жиров в рационе, связанное с переходом к покупной европейской пище, ведет к увеличению концентрации кортикостероидов и соответственно — повышению уровня тревожности, снять которую человек зачастую стремится испытанным алкогольным способом.

К тому же приходящий извне этанол обеспечивает дополнительное поступление энергии (7.1 ккал на каждый грамм спирта), что также способствует снятию напряжения. Эти биологические особенности северян даже при одинаковых частотах аллелей, детерминирующих обмен этанола, могут приводить в группы «проблемно пьющих» и «имеющих алкогольную зависимость» не 9–10% употребляющих спиртное, как это происходит в среднем в России и США, а заметно больше.

Но как бы ни велико было влияние физиологических факторов, объяснить сложившуюся ситуацию только ими и оставлять без внимания социальные предпосылки «северного алкоголизма» нельзя. Распространение безработицы среди коренных северян, сложность их адаптации к реалиям техногенной цивилизации, исчезновение ряда элементов традиционных культур и многие другие причины ведут к негативным психологическим последствиям [4]. В ситуации, кажущейся безысходной, люди начинают безразлично относиться к своей жизни и здоровью, что проявляется в снижении уровня самосохранения. Коренные народы Севера России остаются один на один со злейшим врагом — алкоголем.

Что же делать?

Политика сухого закона, принимавшаяся в разное время правительствами США, Финляндии, Норвегии, Канады, положительных результатов не приносила, в том числе и в общинах коренных северян. В СССР аналогом сухого закона стала антиалкогольная кампания 1985–1991 гг., в ходе которой в группах аборигенного населения Севера были получены положительные результаты лишь на короткое время. К долговременному устойчивому снижению потребления алкоголя ни на Севе-

ре, ни в стране в целом кампания не привела, а отмена государственной монополии на производство и оборот спиртных напитков почти мгновенно уничтожила все демографические достижения конца 1980-х. Запретительно-карательная алкогольная политика государственных структур показала свою несостоятельность. Однако она принесла и определенную пользу, прежде всего тем, что помогла северянам увидеть одного из своих главных врагов — алкоголь.

Это чрезвычайно важно, поскольку значительное место в антиалкогольных программах на Севере нужно отводить социальным службам и общественным организациям с выраженной этнокультурной ориентацией. В решении проблем, вызванных пьянством и алкоголизмом в арктических популяциях, чрезвычайно высока роль семьи и особенно — общины, чье влияние традиционно сильно.

Серьезная и эффективная помощь проблемно пьющим северянам невозможна без знания этнической психологии. Но в этом врач-нарколог, как правило, выходец из иноэтнической среды, отстает от хорошего шамана. Между тем опыт Канады и США показывает, что заметную роль в борьбе с пьянством в аборигенных общинах играют различные формы традиционной медицины. Американские исследователи рекомендуют сочетать традиционные подходы, присущие каждой аборигенной группе, с современными западными методами лечения пьянства и алкоголизма: применение только тех или других способов не дает желаемого результата [12]. По нашему мнению, именно такой путь наиболее перспективен.

Итак, устоявшееся в российском обществе мнение, будто склонность к пьянству и алкоголизму — едва ли не врожденная особенность народов Севера, должно быть пересмотрено. Потребление алкоголя в среде ко-

ренных северян в первую очередь — следствие ослабления инстинктов самосохранения, отражающих социальную дезадапта-

цию аборигенных обществ. Потеря цели, отсутствие ориентиров, ощущение собственной нужности и бесполезности в ми-

ре, который становится иным, — вот основные причины кризиса. Алкогольная ситуация — лишь его отражение. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-06-80427.

Литература

1. Wood D.S. // Int. J. Circumpolar Health. 1999. №1. P.24—29.
2. Avksentyuk A.V. et al. // J. Stud. Alcohol. 1995. №2. P.194—201.
3. Троицкая М.Н. и др. Влияние уровня потребления алкоголя на показатель смертности от сердечно-сосудистых заболеваний среди жителей Чукотки // Особенности заболеваний терапевтического профиля (тез. докл.). Анадырь, 1990.
4. Кривошапкин В.Г. Сердечно-сосудистые заболевания в Якутии. Мат. 13 Межд. конгр. приполярн. мед. Новосибирск, 2006.
5. Козлов А.И., Вершубская Г.Г. Медицинская антропология коренного населения Севера России. М., 1999.
6. Вершубская Г.Г., Козлов А.И. Связанная с алкоголем смертность коренного населения севера Западной Сибири. Мат. 13 Межд. конгр. приполярн. мед. Новосибирск, 2006.
7. Ленский Е.Л. и др. // Алкогольная болезнь. 1998. №10. С.1—10.
8. Демина М.Н. и др. // Чукотка: Природа и человек. Магадан, 1998.
9. Боринская С.А. и др. // Генетика. 2005. №11. С.1563—1566.
10. Fenja D. et al. // Can. Med. Assoc. J. 1971. №105. P.472—475.
11. Панин Л.Е. Рациональное питание на Севере — основа первичной профилактики // Проблемы современного социального развития народностей Севера. Новосибирск, 1987.
12. Gomberg E.S. // Recent. Dev. Alcohol. 2003. №16. P.313—333.

Палеоклиматология

«Климатические качели»

На протяжении последнего оледенения (55—25 тыс. лет назад) климат Земли представлял собой своеобразные качели: в то время как теплело в Антарктике, в Гренландии было холодно; затем, благодаря притоку теплых вод из Южного океана в северную часть Атлантического океана, начиналось потепление в Гренландии, а в Антарктиду приходило похолодание. Такое чередование происходило неоднократно¹.

Европейские специалисты, исследовавшие две колонки ледяного керна, отобранные в Антарктике на Куполе С и на Зем-

¹ Климат на юге и севере изменялся в противофазе // Природа. 2001. №10. С.84—85.

ле Королевы Мод, пришли к выводу, что движущей силой «климатических качелей» была океаническая циркуляция Атлантического океана.

Sciences et Avenir. 2007. №719. P.17 (Франция).

Метеорология

Характер муссонов в Индии меняется

С 1950 г. частота проливных дождей, которые обрушиваются на Индию в муссонный период, удвоилась. К такому заключению пришел Б.Госвами (B.Goswami; Индийский институт тропической метеорологии) после детального анализа материалов, собранных на 1800 метеорологических станциях за последние 50 лет. Хотя число экстремально мощных

дождевых осадков возросло, среднее их количество остается примерно одинаковым от муссона к муссону. Слабые и умеренные дожди отмечаются все реже. Этот феномен связывают с потеплением Индийского океана.

Science et Vie. 2007. №1073. P.28 (Франция).

Экология

Уровень эрозии почв

Эрозия почв в настоящее время связана главным образом с различными сферами человеческой деятельности: ежегодной антропогенная эрозия составляет 75 млрд т, тогда как естественная — 21 млрд т. Сельское хозяйство занимает в этом расчете лидирующее положение, за ним следуют строительство

и разработка полезных ископаемых. Между тем исследования показывают, что с 1961 г. площади обрабатываемых земель увеличились на 11%, а численность населения с того же времени удвоилась. Таким образом, согласно заключению специалистов, современная эволюция эрозии почв представляется не столь значительной, если вести расчет ее уровня на одного жителя Земли.

La Recherche. 2007. №405. P.12 (Франция).

Биотехнология

Сверхпрочный моющийся скотч

С.Горбу (S.Gorb; Институт им.М.Планка, Штутгарт, Германия) удалось создать очень крепкий моющийся скотч, годный к повторному использованию.

На создание этого материала его натолкнули особенности строения ног жуков-листоедов (Chrysomelidae), к которому, в частности, принадлежит колорадский жук. Ноги этих ползающих жесткокрылых насекомых густо покрыты микроволосками грибовидной формы длиной 140 мкм. В этом плотно прилегающем «ковре» из микроволосков действуют силы Ван-дер-Ваальса. Специалистам удалось изготовить матрицу, достаточно точно повторяющую на пластике строение такого «ковра». Результат впечатляющий: 5 см² скотча достаточно, чтобы «приклеить» к стене предмет весом в 100 г.

Science et Vie. 2007. №1073. P.13 (Франция).

Вулканология

Извержение вызвано работой буровой скважины

С мая 2006 г. грязевой вулкан, находящийся на востоке

о.Ява, ежесуточно извергает от 7 тыс. до 150 тыс. м³ грязи. По данным английских вулканологов, он не прекратит своей деятельности на протяжении нескольких лет. Изверженная грязь покрыла почти 10 км² поверхности, уже погибло 13 человек, разрушено четыре деревни и 25 мастерских. Центр вулкана, очевидно, скоро обрушится, образовав кратер.

Согласно докладу ООН, сделанному в июле 2007 г., деятельность вулкана была вызвана проходкой буровой скважины индонезийской газовой компанией.

La Recherche. 2007. №406. P.15 (Франция).

Океанология

Модернизация сети предупреждения о цунами

С целью сократить время обнаружения цунами Национальная администрация США по изучению океана и атмосферы (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA) совершенствует измерительную аппаратуру 33 приливных постов, входящих в состав Национальной сети наблюдений за уровнем воды. До сих пор эти приливные посты (National Water Level Observation Network) регистрировали положение приливного уровня на каждый час суток, теперь же аппаратура дает такую информацию каждые 6 мин. Полученные сведения будут передаваться через геостационарные спутники NOAA (NOAA's Geostationary Operational Environmental Satellites — GOES).

Модернизированные мареографы собирают приливную информацию с одноминутным осреднением, она поступает в Тихоокеанский центр предупреждения о цунами и в Центр предупреждения о цунами по

Западному побережью США и Аляски. Все это намного повышает прогностические возможности двух этих центров: теперь специалисты в реальном масштабе времени могут получать информацию по любому посту сети.

Информация по приливам, поступающая в Тихоокеанский центр предупреждения о цунами, будет сопоставляться с данными от сети буев, которые работают по программе NOAA DART (NOAA's Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis), что в будущем позволит более точно прогнозировать магнитуду, направление и скорость волны.

Hydro International. 2007. V.11. №3. P.14 (Нидерланды); seadiscovery.com/mt/mtstories.aspx?showstory=10078/2083

Генетика

Генетически модифицированные быки

В США выращены генетически модифицированные быки с инактивированным геном прионов (появление в мозге патологических форм этих белков приводит к развитию губчатых энцефалопатий — коровьего бешенства, болезни Крейтцфельда—Якоба у человека). Телята здоровы, у них нет никаких отклонений от нормы. Лабораторные исследования показывают, что культивируемые нервные клетки таких быков, в отличие от обычных, не реагируют на добавление аномальных прионов. Однако чтобы быть уверенными в том, что защита от болезни оказалась действенной, специалисты ввели нервные клетки большого животного в мозг генетически модифицированного быка — заболел ли он, будет ясно не ранее чем через полтора года.

Science et Vie. 2007. №1073. P.13 (Франция).

На плато сейдов Кольского полуострова

В.Г.Мизин,

действительный член Русского географического общества
Санкт-Петербург

Среди чарующих ландшафтов Европейского Севера внимание путешественника привлекают необычные каменные конструкции. Установленные так внешне неустойчиво, что, кажется, и стоять не должны, они тем не менее существуют не одну тысячу лет.

Это сейды — один из наиболее распространенных типов культовых памятников древних саами. В саамской традиции «сейд» — некий почитаемый объект, в котором живет дух [1–3]. Им может быть дерево, гора, река, озеро, камень и рукотворное каменное сложение. Вот почему этнограф Н.Волков в 1947 г. на заданные саами вопросы, что означает это слово и каково предназначение сейда, получал весьма неопределен-

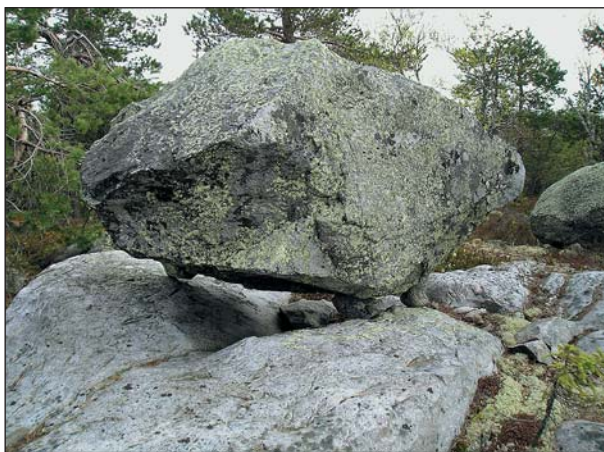
ные ответы: «Это камень такой, как будто человек»; «Сейдом у нас раньше считали такие камни, как будто в них что-то было»; «Глупые были, вот и молились сейдам. Камень и камень, ничего в нем нет. Однако хорошо помогали: и рыб, и зверя, и птиц помногу доставали». В любом селении указывали на два-три камня, считавшиеся сейдами, а иногда на гору, хотя сейдом, вероятно, был камень на ней [4].

Ныне сейдом принято именовать сложение в виде крупного валуна, поставленного на нескольких опорных камнях (от одного до десяти). В России они встречаются в Мурманской обл., Карелии [5–7], северной части Ленинградской обл. [8]. Аналогичные памятники известны также в Швеции [9], Финляндии, Норвегии, где, впрочем, их на-

зывают по-другому, например летучими валунами, «курицей на яйцах», «столами гигантов» и др. Встречаются (особенно часто на островах Белого моря) и композиции из нескольких камней, поставленных друг на друга или выложенных на скале пирамидкой.

До середины XX в. рукотворность сейдов не обсуждалась, их чаще всего считали природными образованиями ледниковой эпохи. Но когда были открыты крупные комплексы из сотен сейдов, их происхождение уже не могло быть однозначно объяснено деятельностью ледника. Первый такой комплекс был обнаружен археологом И.М.Мулло в 1968 г. на вершинах скалистых островов Русский и Немецкий Кузова в Белом море, другие подобные скопления культовых камней были зафиксированы в 1990-х го-

© Мизин В.Г., 2007



Сейд, установленный на трех опорах над небольшим желобом в скале. Гора Воттоваара, Карелия.



В структуру плато сейдов Кольского п-ова входят не только сейды, но и другие конструкции. На фото одна из них — квадратная выкладка из массивных валунов.

Здесь и далее фото автора

дах, также в Карелии, на вершинах гор Воттоваара, Кивакка, Нуорунен и некоторых других [10]. По расположению на пологих вершинах невысоких карельских гор данные комплексы получили название **плато сейдов**. На данном этапе в России именно эти расположенные в Карелии святилища древних саами наиболее изучены.

В некоторых публикациях о сейдах встречаются упоминания о двух типах камней — зооморфных, посвященных духам, которым молились перед охотой, и антропоморфных, посвященных «духам предков». Но данные трактовки небеспорны — некоторые сейды напоминают птиц и животных (лемингов, волков, китов, тюленей), но только в определенном ракурсе обзора. Еще сложнее назвать похожим на человека камень, венчающий валун на ножках. Впрочем, у саами действительно существовали священные скальные образования, напоминающие контуры людей, — скала Куйвы на Сейдозере (Ловозерские тундры, центральный район Кольского п-ова), «Раткольский бог» (скала на о.Ратколье, Онежское оз.), скала Астувансалми (Финляндия).

Впервые систематизацию культовых комплексов дохристианских саами в Скандинавии осуществил А.Воррен. В его классификации насчитывается восемь типов капищ: скалы, отдельные скальные формации необычной зоо- или антропоморфной формы (скала Куйвы на Сейдозере, Ловозерские тундры в центре Кольского п-ова, скала Ратколье в Онежском озере и др. ...), камни-валуны разных размеров, расщелины, ямы и гроты, священные источники, озера, а также кольцеобразные сооружения из камней-валунов диаметром 6—9 м, внутри которых иногда имелась фигура, также выложенная камнями.

Антропоморфные фигуры, сложенные из камней, встречаются крайне редко. Известный этнограф В.В.Чарнолуцкий так

описывает святилище бога терских саами Каврая, расположенное недалеко от Большого Верхнекаменного погоста. «Высота истукана — 128 сантиметров, наибольшая окружность головы — 128—129 сантиметров. Издали каменная фигура напоминает приземистого человека в печке (своеобразная старинная саамская одежда из оленьего меха). Весь «человек» сложен из семи больших плоских камней, только голова имеет вид усеченной пирамиды — четырехугольного основания с вершиной (т. е. лицом), обращенной к востоку. Семь маленьких камней-прокладок вложены между большими камнями. Отсутствует камень, изображающий шапку... Вокруг истукана достаточно свободного места — здесь, вероятно, происходили общие собрания старцев погоста, приносились жертвы этому каменному богу, производились гадания. Он грубо сложен из камней, и притом так, что действительно производит впечатление божества» [2].

В отличие от Карелии, Кольский п-ов во многом еще «белое пятно» на карте распространения древних саамских святилищ. Правда, в 70-х годах Ю.В.Титовым здесь была обследована группа сейдов, расположенных на скалистой возвышенности в полутора километрах от пос.Серебрянский на правом берегу р.Воронья. Он отмечал: «Валуны высотой от 0.5 до 3.5 м здесь поставлены на три или четыре «ножки». Под основаниями трех сейдов найдены мелкие гранитные и кварцевые отщепы. Возможно, в прошлом саамы носили их в качестве магических амулетов. Многие сейды напоминают силуэтные изображения морских животных и птиц. Вероятно, саамы связывали их с тотемными животными» [11].

В северо-восточном районе Кольского п-ова Т.И.Иовлевой были открыты сейды, которые археолог Мулло назвал «...целым кладом памятников древней са-

амской мифологии... более выразительных, чем сейды на Кузовах...» [12].

В расположении святилищ древних саами в Карелии выделяется несколько характерных признаков: культовые комплексы располагаются на пологих, часто безлесых, вершинах гор; скопления камней сейдов всегда располагаются на скальных поверхностях (сейды никогда не возводились на других, последниковых формах рельефа); сейдам сопутствуют небольшие верховые озера — палеоводоемы; один из первостепенных ландшафтных атрибутов святилищ — наличие ущелий, трещин в скалах, разломов и подобных образований.

Результат работы с источниками и уточнения географических особенностей сейдов Карелии позволил нам определить места возможного расположения крупных скоплений культовых камней древних саамов на Кольском п-ове и посетить эти места в 2004 и 2005 гг.

Нами были обследованы северные районы Кольского п-ова от Лиинахамари до горы Северный Сейдпахк. В этой полосе было выявлено несколько крупных комплексов, по предварительной оценке состоящих из нескольких тысяч культовых камней.

Обзор плато сейдов Кольского п-ова позволяет выделить конструктивные и ландшафтные внешние признаки, по которым с большой степенью вероятности можно отнести тот или иной сейд к рукотворным объектам. К первым относятся особенности установки камня, условно названные архитектурой сейда. Так, валуны околосферической формы имеют опоры под центром, плоские обломки скал обычно возводились горизонтально на трех-четырёх опорах, камни околочувической формы часто удерживались на ребре при помощи одной опоры. Стандартные признаки сейдов — визуально неустойчивая установка валунов, ис-



Культовая площадка «квадрат». Небольшой сейд расположен в центре квадрата, образованного четырьмя валунами. В подобных структурах на горе Двойной западнее сейда обычно располагаются два валуна.



Фрагмент панорамы плато сейдов. Гора Двойная, Кольский п-ов.



Стиль постановки сейдов, характерный для района горы Северный Сейдпакх.

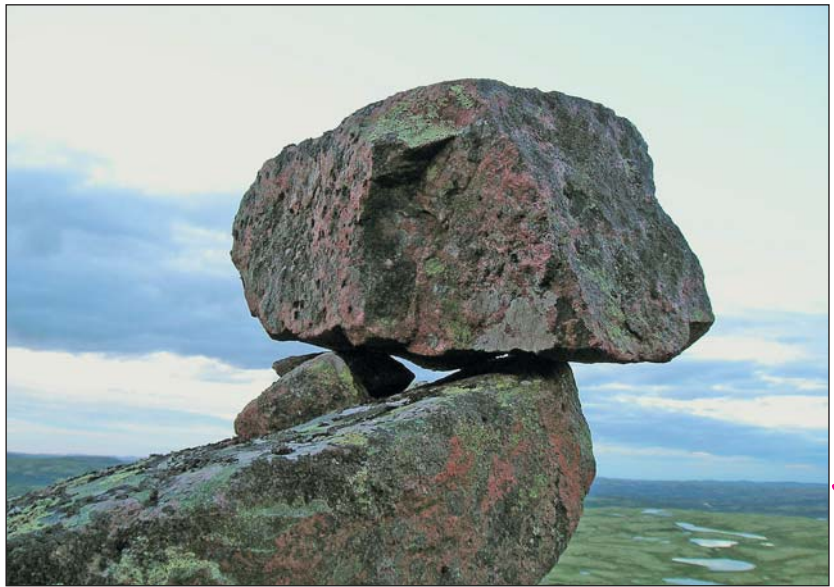


Для сейдов часто выбирались валуны, имеющие повреждения, выветривания. Гора Двойная, Кольский п-ов.



Редкая компоновка: один трехопорный сейд опирается на другой. Гора Двойная, Кольский п-ов.

В сейдах часто наличествует не только инженерная, но и эстетическая составляющая. Териберка.



Треснувший валун, обе части которого приподняты на опоры. Подобная компоновка зафиксирована в комплексах сейдов горы Воттоваара, Лиинахамари. На фото: сейд на горе Нуорунен. Северная Карелия, национальный парк Паанаярви.



В распространенном представлении лапландский сейд выглядит именно так: эффектная глыба на трех опорах, парящая над тундрой. Район горы Северный Сейдпакх.





Неустойчивая вертикальная постановка. Один из отрогов горы Двойной, Кольский п-ов.

пользование опорных камней цвета, отличного от цвета самого сейда, использование породы, нехарактерной для данной местности. На плато сейдов собственно камням-сейдам часто сопутствуют другие конструктивные элементы: каменные кучи и пирамидки, очажные и квадратные выкладки, заложенные камнями трещины в скалах.

Выявлены даже характерные для данной местности «стили». Их существование в установке камней может говорить о длительном времени развития и существования этого культа, а также, вероятно, о некоторых отличиях в культурном плане между племенами, обитавшими в различных районах Карелии и Кольского п-ова. С другой стороны, различные стили соответствуют различным формам рельефа.

Рукотворность комплексов плато сейдов подчеркивают и ландшафтные признаки. Они установлены только на скальных поверхностях, на доминирующих над местностью высотах, вблизи небольших водоемов или источников. Сейды никогда не возводились на хаотических скоплениях валунов, оставленных ледником.

Условные центры культовых комплексов — и рукотворные конструкции, отличные от сейдов, и естественные образования. На горе Кивакка в Карелии (название которой происходит от Киви Акка — «Каменная Баба») сейды группируются вокруг разлома, проходящего через вершину горы, а на горе Двойной центрами служат скальный останец на одной вершине и небольшая каменная пирамидка, возведенная над трещиной, на другой; на карельской горе Нуорунен — собственно центральная вершина, на террасе вокруг которой сгруппированы сейды. По этим признакам можно предположить, что древние обитатели Севера выбирали места для возведения культовых комплексов на некотором удалении от определенных при-

родных объектов — останцов, скал, ущелий, провалов, которые, видимо, обожествлялись, как и сами сейды [13, 14].

Для сооружения сейдов использовались валуны, принесенные ледником из других мест, а в некоторых случаях обломки скал, удаленных не более чем на несколько сотен метров.

Но откуда возник культ сейдов? Во все времена религиозные представления подчеркивали отношения человека и природы, души и мира богов, отношения индивидуума и социума, живых и мертвых. В Скандинавии по некоторому внешнему сходству принято считать культ сейдов заимствованным от культа дольменов Южной Швеции [15].

Думается, однако, что истоки культа сейдов в особенностях северной природы послеледникового периода. На что в первую очередь обращают внимание люди в окружающем ландшафте? На то, что из него выделяется, — на скалистый остров среди камышей, самую высокую гору, водопад, ущелье. Множество памятников свидетельствуют, что именно в таких местах, называемых термином «урочища», древние люди чаще всего ставили свои святилища. В северной природе прообразы сейдов очевидны — немногочисленные валуны, оставленные таявшим ледником на скалах, так что их постановку объяснить древнему человеку было невозможно, именно поэтому обожествлялись. С этого момента в них поселились «духи». Распространение сейдов вполне укладывается в эту традицию копирования магических символов.

Некоторые сейды ставились на скалистых островках среди болот или озер, водная преграда подчеркивала принадлежность камня к миру духов. Их связь с водой заметна и в других местах — скалистых берегах верховых озер горных плато недалеко от источников. Многие родники в Ловозерских горах, окружающих Сейдозеро, и в Мончетунд-

рах, окружающих другое озеро с таким же названием, буквально вытекают из-под сейдов. Это может подчеркивать и принадлежность сейдов к верхнему миру духов, который, по верованиям саами, располагался выше истоков, в то время как нижний мир получал «географическую привязку» ниже устья реки. Не случайно даже поздние саами обращались к сейдам со столь широким спектром просьб — иррациональным, сверхъестественным силам воплощенной природы должно быть подвластно все, или почти все — удача на охоте и рыбалке, избавление от болезни, погода...

По некоторым данным, возле сейдов делались захоронения умерших членов рода; вполне логично, что заботу об ушедших предках древние саами могли поручить тем, кто воплощал в себе магических духов природы.

Присутствие же духа в сейде мифологически подтверждают и некоторые природные особенности конструкций: на Кольском п-ове довольно часто встречаются расколотые сейды. Механизм раскола сомнений не вызывает — камень, поставленный неустойчиво, легко трескается от сезонных климатических изменений, но древние считали, что дух покинул камень — улетел.

Интересные данные о сейдах дают и некоторые сопутствующие им конструкции. Во многих местах Карелии и Мурманской обл. можно увидеть следы древних землетрясений — огромные трещины в скалах, которые рядом с сейдами часто заполнялись камнями, либо камни ставились над ними, или даже сами сейды ставились над трещиной. Возможно, древние пытались умиловить грозные подземные силы, способные разрушать скалы.

Непременная ландшафтная составляющая комплексов — небольшие верховые озера, они есть на Воттовааре, Кивакке, Двойной, Нуорунен, Лиинахамари. Например, в тундре на под-

ступах к горе Двойной возвышается небольшая сопка среднего высотного диапазона, но доминирующая над местностью, на вершине ее ни одного сейда, лишь у подножия, на небольшой террасе возле двух небольших озер, располагается компактное скопление из 10 сейдов. Это тоже явно не случайное совпадение: вероятно, наличие воды было необходимо для каких-то ритуалов, приношений и других действий. Вполне возможно, что в данном случае вода была важнее «высотности» в выборе места для возведения сейдов. В са-

амской мифологии горы были олицетворением «рая», а верховые озера — прообразами колодцев-источников всех земных вод, воротами в мир духов. Расположение сейдов возле озер прослеживается и в финской части Лапландии — в округе Енонтекио известны сейды Накала возле озер Наккалаярви, Кикасярви и Сомасярви (камни в местности Касиварси), и в горной части Швеции (оз.Виксиярви, гора Мионювара).

Сосредоточение множества культовых камней на плато сейдов подчеркивало «святость»

данных мест. Вероятнее всего, плато были своеобразными религиозными и культурными центрами древних саами.

Покидая плато сейдов, чувствуешь благоговение и восхищение перед разумом и мастерством древних строителей, в незапамятные времена так умело поставивших столь непостижимые конструкции в приполярном регионе.

Очевидно, что обнаруженные святилища далеко не последняя точка в их исследовании. Впереди новые поиски, новые экспедиции. ■

Литература:

1. *Кастрен М.А.* Путешествие в Лапландию 1839, 1841... Тюмень, 1999.
2. *Чарнолуский В.В.* В краю летучего камня. М., 1972.
3. *Чарнолуский В.В.* Легенда о олене-человеке. М., 1965.
4. *Волков Н.* // Живая Арктика. 2000. №1. С.14—16.
5. *Манюхин И.С.* Периодизация и хронология сейдов // Археология Карелии. Петрозаводск, 1996.
6. *Манюхин И.С.* Верования, связанные с сейдами // Археология Карелии. Петрозаводск, 1996.
7. *Мельников И.В.* Святилища Древней Карелии. Петрозаводск, 1998.
8. *Шумкин В.Я., Назаренко В.А., Сакса А.И., Киртичников А.Н.* Каменные выкладки Европейского Севера и их толкование // Древности славян и финно-угров. СПб., 1992.
9. *Agorelius S.* Stenarna på bergen. Grythyttan, 2003.
10. *Манюхин И.С., Шахнович М.М., Журавлев А.П.* Культовые комплексы древних саам на территории Северной Карелии // Памятники древней культуры лесной полосы Евразии. Петрозаводск, 1993.
11. *Титов Ю.В.* Лабиринты и сейды. Петрозаводск, 1976.
12. *Иовлева Т.И.* // Нева. 2000. №6. С.234—236.
13. *Агапитов В.А., Мельников И.В.* О древнем культовом комплексе в Заонежье // Обряды и верования народов Карелии. Петрозаводск, 1992.
14. *Брюсов А.Я.* Каменные насыпи в Карелии // Проблемы истории докапиталистических обществ. М., 1935. №5.
15. *Westling B.* De Flyttade Flyttblocken. Tranås, 1995.

Исландский вулкан Лаки в период с июня 1783 г. по февраль 1784 г. извергался 10 раз, выбрасывая в атмосферу огромные количества диоксида серы. По мнению экспертов НАСА, изучавших отложения пепла в осадочных породах разных географических зон, извержение вулканов, расположенных в высоких широтах, могло определять климат тропических районов. Благодаря численным моделям, описывающим цир-

куляцию атмосферы, ученые установили, что выбросы Лаки продвигались к Сахелю и повлияли на количество дождевых осадков в районе Африканского Рога, вызвав в тот год рекордную убыль воды в Ниле. *Sciences et Avenir. 2007. №719. P.15 (Франция).*

Разрушение кораллов, помимо других причин, происходит также из-за развивающихся на

водорослях бактерий — они питаются свободными сахарами, выделяемыми водорослями, и душат кораллы, лишая их кислорода. Дж.Смит (J.Smith; Калифорнийский университет, США) с коллегами экспериментально показали, что добавление антибиотика в кювету, содержащую водоросли и кораллы, препятствует гибели последних.

Science et Vie. 2006. №1067. P.28 (Франция).

Сокровища сарматского кургана

Л.Т.Яблонский,
доктор исторических наук
Институт археологии РАН
Москва

Примерно 5 тыс. лет назад в восточноевропейских степях появляются первые курганы — искусственные земляные насыпи, сооруженные над могилами. На огромных пространствах евразийских степей сменялись культуры и язык, неоднократно перекраивались этнополитические границы, но обряд подкурганных захоронений сохраняется здесь чуть ли не до наших дней.

© Яблонский Л.Т., 2007

Не случайно поэтому, что степи усыпаны многочисленными и разновременными группами курганов. В могилы вместе с умершими укладывали — в соответствии с представлениями древних язычников о загробном мире — вещи, которые должны были служить им в ином мире или символизировали смерть своего хозяина. Так, обычай разбивать во время погребального ритуала зеркала (в древности они были бронзовыми) или преднамеренно ломать клинки

железных мечей умерших восходит еще к раннесарматской эпохе (середина 1-го тысячелетия до н.э.). Для мужских захоронений более всего характерны предметы вооружения, а для женских — орудия труда и украшения, хотя у ранних кочевников встречаются и женские захоронения с предметами вооружения и конской упряжи.

В это время в степях возникают многочисленные сообщества, экономический уклад которых базировался на специа-



«Царский» курган до ограбления.

Фото автора



Общий вид на центральное погребение кургана после расчистки.



Золотая гривна.

лизированном скотоводстве. Многие из таких сообществ постоянно вели кочевой образ жизни, основанный на круглогодичном вностойловом содержании скота. Люди, принадлежавшие к таким группам, находились в постоянном движении вместе со своими стадами (лошадей и овец), семьями и домашним скотом. Они не оставили долговременных поселений, но хоронили своих умерших в местах традиционных ко-

човек, периодически туда возвращаясь. Так возникали и постепенно разрастались курганные могильники. Воинственные кочевники, известные нам под именем «сарматы», в течение тысячи лет властвовали над степью. Лихие конники, они быстро передвигались на далекие расстояния, в качестве наемников принимали участие в военных действиях. Так, в период греко-персидских войн они сражались то на одной, то на

другой стороне, получая вознаграждение в виде драгоценных предметов. Не брезговали они и грабежом, унося на родину богатую военную добычу. Таким образом, кочевники невольно разносили по широким просторам степи и лесостепи лучшие и передовые культурные ценности, прекрасные произведения оружейного дела и декоративно-прикладного искусства, сделанные носителями древнейших оседло-земледельческих цивилизаций Средиземноморья, Среднего Востока, Кавказа и других регионов Евразии. Эти люди еще не имели собственной письменности, и мы знали бы о них очень немного из отрывочных сведений античных авторов, если бы не археология. Почти все сведения об их быте, культурных контактах и верованиях были получены в результате археологических раскопок, и прежде всего раскопок курганов [1].

Один из таких курганных могильников (его название — Филипповский) расположен на территории Оренбургской обл., в безлесной и безводной ныне степи, на водоразделе рек Урала и Илека. Он состоял из 28 курганов. В центральной части могильника располагались две наиболее крупные насыпи. Их диаметр превышал 100 м, а современная высота достигала 8 м. Можно предположить, что исходная высота этих насыпей превышала 20 м. В археологии курганы таких размеров условно называют «царскими». Один из оренбургских курганов был исследован еще в 1989—1990 гг., и несметные сокровища, добытые при его раскопках, стали известны во всем мире [2].

Другой курган подвергся попытке ограбления с помощью экскаватора в 2005 г., и лишь чудом мы не потеряли коллекцию драгоценных предметов, которые благодаря археологам [3] несомненно войдут в золотой (в прямом и переносном смысле этого слова) фонд мировой культуры и науки.

В связи с угрозой окончательной потери научных данных об этом грандиозном памятнике сарматской культуры была в 2006 г. организована для спасательных раскопок кургана Приуральская археологическая экспедиция Института археологии РАН (руководитель экспедиции — автор этого сообщения).

Под центральной частью насыпи нами обнаружена большая погребальная камера, представлявшая собой своеобразный «дом мертвых». Помещение площадью около 40 м² имело деревянное перекрытие («крышу»). В дом вел коридорообразный вход. В центре помещения, напротив входа, располагался символический глинобитный очаг-жертвенник. На его поверхности сохранился слой золы. Поэтому можно утверждать, что в ходе погребального ритуала здесь действительно разжигали огонь. Вокруг очага стояли деревянные гробовины, в которых лежали покинувшие этот мир 2,5 тыс. лет назад обитатели дома скорби. Вблизи очага и между гробовинами были найдены разнообразные жертвенные подношения. Особое место среди них занимает драгоценный и не имеющий близких аналогий деревянный ритуальный сосуд. Это две соединяющиеся чаши с массивными ручками, выполненными в виде орнаментированных голов баранов. Ту-



Золотые нашивки на женский плащ.

лово сосудов покрыто серебряными листами, а ручки отделаны золотом. Золотыми листами покрыты и ноги баранов, расположенные под днищем тулова.

Еще три погребения были обнаружены под курганом, у краев насыпи. В двух захоронены знатные воины, а в третьем одновременно похоронены молодые мужчина-воин и женщина. Вдоль ее рук лежали золотые с эмалевыми вставками нашивки в виде хищников (вероятно, тигров). Это дает возможность предположить, что женщина была укрыта богато укра-

шенной накидкой. Огромную ценность представляют собой найденные в этом погребении массивные литые золотые браслеты и гривны (надеваемые на шею кольцевидные нагрудные украшения со скульптурными изображениями различных животных). Такие гривны, предполагают ученые, служили символами власти. В данном случае предмет свидетельствует о высоком социальном статусе некоторых женщин в раннекочевых сообществах.

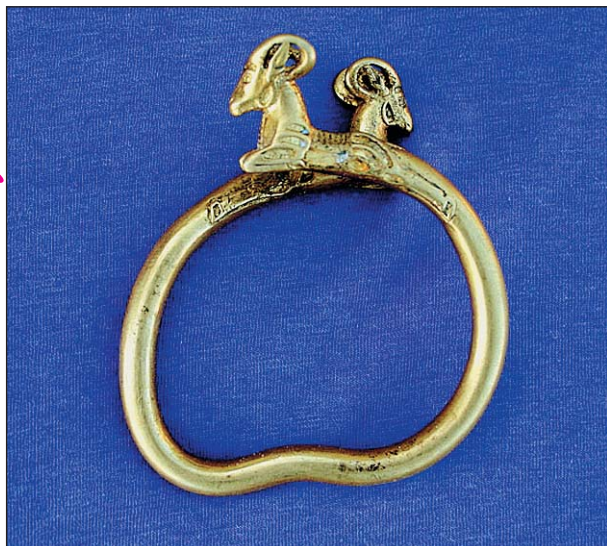
Упомянутые находки имеют много общего в составе предме-



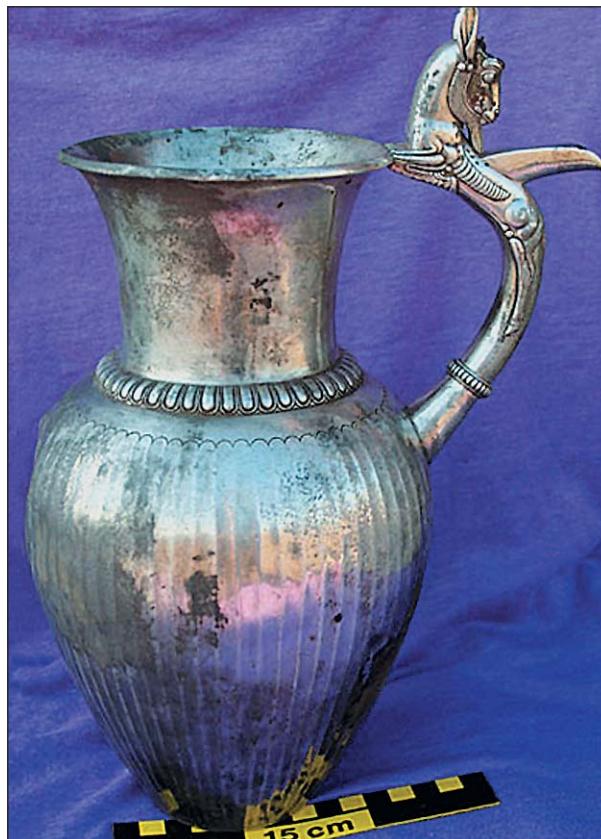
Ритуальный сосуд в виде баранов.



Золотая портупейная пряжка в виде тигра.



Золотой женский браслет.



Серебряный сосуд.

тов из так называемого Амударьинского клада, который при загадочных обстоятельствах был найден англичанами на юге Средней Азии еще в XIX в. Ныне клад хранится в лондонском Британском музее [4]. Происхождение его связывают с древним Ахеменидским Ираном. Ахемениды — династия древнеперсидских царей в 558—330 гг. до н.э. Название династии происходит от ее мифического предка — Ахемена. Основатель династии — царь Кир II. Государство Ахеменидов, включавшее большинство стран Ближнего и Среднего Востока, достигло наибольшего расцвета при царе Дарии I. Несомненно, с территории Среднего Востока

или Малой Азии происходит роскошный литой серебряный сосуд из парного погребения Филипповки. Примечательно, что изображение такого сосуда известно по каменному барельефу дворца царей в Персеполе (древней столице Ахеменидского Ирана). На рельефе, датированном V в. до н.э., изображен царь Дарий I, который принимает подношения от послов подчиненных ему народов. Один из дарителей держит в руках сосуд, очень похожий на обнаруженный в Филипповском кургане.

В воинских захоронениях кургана нами найдены многочисленные украшения и предметы вооружения. Среди них —

золотые литые гривны, инкрустированный золотом меч с золотым перекрестием, массивные портупейные пряжки, золотые накладки на деревянные чаши, выполненные в традициях так называемого звериного стиля, — всего свыше 70 предметов только из драгоценных металлов. Материальная стоимость полученной коллекции исключительно велика, а ее историческая и художественная ценность вообще не имеет денежного эквивалента. То же можно сказать и относительно научных результатов раскопок, которые приумножают наши знания об особенностях жизни и высокой культуре древних обитателей приуральских степей. ■

Литература

1. Археология СССР. Степи Европейской части СССР в скифо-сарматское время. М., 1989.
2. *Psbenichnik A.* The Filippovka Kurgans at the Heart of the Eurasian Steppe // *The Golden Deer of Eurasia.* N.Y., 2000.
3. Яблонский Л.Т., Мещеряков Д.В. Раскопки «царского» кургана в Филипповке (предварительное сообщение) // *Российская археология.* 2007. №2.
4. Зеймаль Е.В. Амударьинский клад. Каталог выставки. Л., 1979.

Зоолог, открывший мир погонофор

К 100-летию Артемия Васильевича Иванова

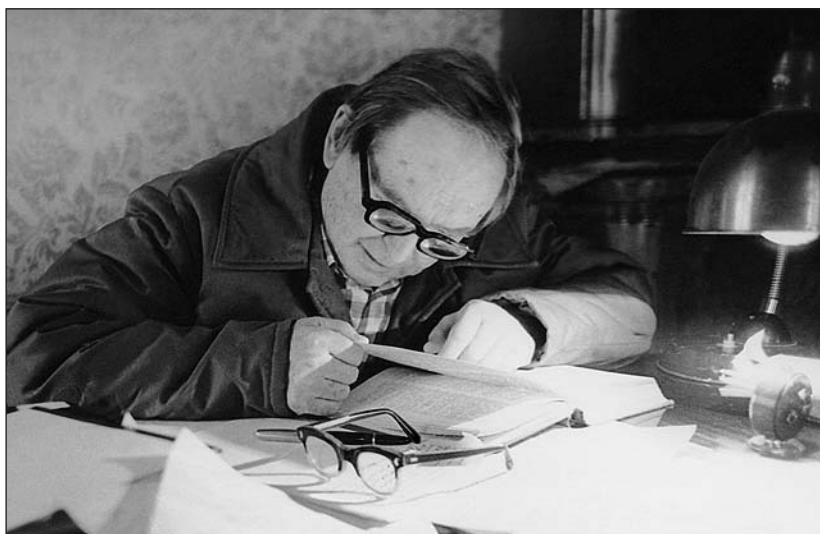
Ю.В.Мамкаев,
доктор биологических наук
С.Д.Степаньянц,
кандидат биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

В 1973 г. киностудией Леннаучфильм был снят фильм, посвященный работам академика Артемия Васильевича Иванова (1906—1992), имя которого связано прежде всего с открытием в морских глубинах загадочных животных — погонофор (в переводе с греческого — несущих бороду). Их «борода» — это длинные щупальца, у многих — целая крона (отсюда — «бородоносцы»). Фильм так и назывался: «Бородоносцы со дна Океана» (авторы — известные зоологи Ю.С.Миничев и В.Г.Шевченко). За кадром звучал голос Ефима Копеляна, хорошо знакомый по сериалу «Семнадцать мгновений весны». История открытия и изучения погонофор также напоминает приключенческий сериал — здесь своя интрига, свои коллизии. К рассказу об этой истории мы скоро и перейдем, но прежде, как повелевает традиция, — небольшое биографическое отступление.

Истоки

Выдающийся зоолог XX в. академик Артемий Васильевич Иванов родился 18 мая 1906 г. в г. Молодечно (Белоруссия), где служил тогда его отец, железно-

© Мамкаев Ю.В., Степаньянц С.Д., 2007



Артемий Васильевич Иванов дома, за рабочим столом. 1991 г.
Здесь и далее фото из архива М.А.Иванова

дорожный врач. Василий Иванович Иванов оказал большое влияние на формирование личности сына. Был по своим склонностям натуралистом, романтиком и поэтом (сохранилась тетрадь его неопубликованных стихов). Мечтал о дальних странствиях, но этим мечтам не суждено было сбыться. Василий Иванович происходил из многодетной семьи деревенского фельдшера, из-за материальных трудностей он вынужден был воспользоваться предоставленной ему железнодорожным управлением возможностью получить меди-

цинское образование за казенный счет. Став железнодорожным врачом, он женился на Серафиме Михайловне Сосниной. От этого брака родился первенец Артемий и три дочери (между прочим, имя сыну было дано в честь героя тетралогии строителя железных дорог и прекрасного писателя Н.Г.Гарина-Михайловского).

До Первой мировой войны семья жила в полном достатке; имелась прислуга и бонна, которая обучала детей немецкому языку. Василий Иванович увлекался разведением цветов и вы-



Серафима Михайловна Иванова (Соснина) с младенцем Артемием. Молодечно. 1907 г.



Василий Иванович Иванов с Артемием перед отправкой на фронт. Молодечно. 1914 г.

писывал луковицы тюльпанов из Голландии. Когда началась война, Василий Иванович был мобилизован, а семья эвакуировалась в Пензенскую губернию, где проживали родственники. После революции и окончания войны Ивановы обосновались в Гомеле. Они жили на окраине города в деревянном домике, при котором был небольшой сад и огород. Теперь, чтобы прокормить семью, Серафиме Михайловне пришлось держать корову, за которой она сама ухаживала. Все дети работали в огороде, а Тема, когда подросток, занимался заготовкой сена.

Артемию Васильевичу унаследовал многие душевные склонности отца. Стихи, правда, писал только в юности, но поэзию любил и знал, многое мог читать

наизусть. И ему посчастливилось осуществить мечты отца — работать в далеких экспедициях, увидеть экзотические страны. Он стал натуралистом, изучение природы стало делом его жизни.

После окончания школы в 1924 г. Артемий Иванов поступил в сельскохозяйственный институт г. Горы-Горки (Белоруссия, Могилевская обл.), а в 1926 г. перевелся в Ленинградский университет, где специализировался на кафедре зоологии беспозвоночных и в Петергофском биологическом институте. Много лет проработал он в Ленинградском университете и Зоологическом институте, где организовал лабораторию эволюционной морфологии. Его исследования загадочных, лишенных кишечника погонофор стали одним из

выдающихся достижений зоологии XX в.

На подступах к открытию

До работ Иванова было известно лишь два вида погонофор, таких разных, что их даже не догадывались сопоставить друг с другом. Экземпляры одного вида — *Siboglinum weberi* — тончайшие нитевидные черви (диаметр трубки менее 1 мм, длина не превышает 15 см), снабженные единственным штопорообразным щупальцем, были добыты из морских глубин близ Индонезии и Австралии голландской экспедицией 1899—1900 гг. на судне «Зибога» (отсюда родовое название *Siboglinum*). Французский зоолог Морис Коллери,

описавший этот вид в 1914 г., вначале затруднялся, куда его отнести, а значительно позже, в 1948 г., сблизил его с полухордовыми, соседствующими с типом хордовых, к которому относятся и позвоночные.

Другой вид — *Lamellisabella zachsi* — был обнаружен в 1932 г. одной из отечественных экспедиций при глубоководных тралениях в Охотском море. Эти черви крупнее (диаметр трубки до 1.6 мм, длина до 30 см), они то и несут длинную бороду из щупалец. Нашедший и описавший этот вид гидробиолог П.В.Ушаков, друг Артемия Васильевича, отнес его к широко распространённым кольчатым червям (полихетам), поместив в семейство сабеллид (*Sabellidae*) [1]. А поскольку щупальца этих бордачей спаяны в цилиндрическую пластину, родовое название они получили *Lamellisabella* (от лат. *lamella* — пластинка). И все же сомневался Павел Владимирович в своем определении. Для уточнения он послал несколько экземпляров шведскому зоологу, специалисту по сабеллидам Карлу Эрику Йогансону.

Позднее Ушаков передал материал Артемию Иванову (уже тогда сложившемуся зоологу-морфологу), который, между прочим, также участвовал в той экспедиции 1932 г., но на другом судне и в соседнем море (о чем речь впереди). В тот момент Артемий Васильевич не уделил этой сомнительной полихете должного внимания, он тогда был увлечен паразитическими моллюсками.

Между тем Йогансон не признал в присланных червях полихет. Он обратил внимание на их своеобразие, дал им название *Rogonophora*, выделил единственный вид в новый класс, который сблизил с весьма своеобразными форонидами (они обитают в трубках, как погонофоры и многие полихеты, но кишка у них сложилась вдвое, так что анальное отверстие находится на наружном конце червеобразного тела, рядом со ртом, об-



Артемий Васильевич, Андрей Петрович Римский-Корсаков, Дмитрий Максимилианович Штейнберг и Владимир Львович Вагин. Старый Петергоф. Биологический институт. 1928 г.

рамленным кроной щупалец; их относят к особому типу, далекому от полихет). Позднее он, вслед за австрийским зоологом Э.Рейзингером, сблизил этот вид-класс также и с полухордовыми [2]. Заинтересовался этим видом и крупнейший отечественный зоолог В.Н.Беклемишев [3]. Он тоже сблизил его с полухордовыми и выделил в самостоятельный тип. Естественно, появился интерес к этому загадочному виду и у Иванова.

Иванов ищет сам

Но началась война. После ее окончания Артемий Васильевич уже всерьез заинтересовался погонофорами (опять-таки — пока одним видом!), чему способствовали начавшиеся тогда экспедиционные рейсы знаменитого «Витязя». Появилась реальная возможность самому поискать этих червей. И Артемий Васильевич стал их находить (правда, далеко не сразу). С 1949 по 1960 г. он принял участие в пяти рейсах «Витязя» (последний из них, в Индийском океане, длил-

ся восемь месяцев). Росло число обнаруженных видов, накапливался массовый материал. Артемий Васильевич стал изучать его самым тщательным образом. Нужно заметить, что погонофоры очень трудны для исследования: тончайшие нитевидные черви (толщиной нередко лишь в одну десятую долю миллиметра при длине до двух-трех десятков сантиметров), к тому же заключенные в довольно прочные трубки. Попробуйте-ка извлечь таких животных из трубок, да еще целиком! А потом из них нужно изготавливать бесчисленные серии срезов!

Иванов открыл громадное разнообразие форм. В монографии по погонофорам, удостоенной Ленинской премии, он описал 2 отряда, 5 семейств, 11 родов, 44 вида и отметил еще 30 видов, которые нельзя было определить из-за недостатка материала [4]. В английском издании монографии указывалось уже 72 вида [5]. Он продолжал и далее описывать новые виды — вплоть до последних статей [6]. В этих статьях был также выделен новый подкласс погонофор.



Артемий Васильевич, Анатолий Петрович Андрияшев, Владимир (?) Макаров в Охотском море. 1931 г.

У планктонной лебедки во время плавания по Охотскому морю. 1931 г.



Нужно было обратить внимание на этих трудных для изучения, обитающих в трубках червей, действительно напоминающих обычных широко распространенных седентарных полихет. Их же не раз встречали, но принимали за банальных полихет и не рассматривали! Вот показательный пример. В сборах одного из рейсов 1958 г. на экспедиционном судне «Профессор Дерюгин» в Баренцевом море попадались трубки, относимые к трубкам обычных массовых полихет. Однако участвовавший в разборке материала весьма эрудированный зоолог К.Н.Несис, знавший об открытии погонофор, предположил,

что это они. Материал был послан Артемию Васильевичу, и догадка подтвердилась. В 1959 г. погонофор уже искали специально, причем находили и в тех точках, где в 1927 г. Л.А.Зенкевич делал станции на «Персее». Тогда их принимали за сабеллид и не собирали. Естественно, Лев Александрович сожалел об упущенном открытии.

А вот и более курьезный случай: погонофоры, оказывается, были найдены еще в 80-е годы XIX в. и оставались неизвестными до 60-х годов XX в. Материал был собран в 1886 г. экспедицией на судне «Альбатрос» в Тихом океане и пролежал в Национальном музее США три четверти века, пока на него не обратили внимание, поскольку уже стало

известно, что есть такие своеобразные черви — погонофоры. Было описано два новых вида.

По существу Иванов открыл новый мир — мир погонофор, с массовыми видами, широко представленными во всех океанах. Погонофоры населяют илы, богатые метаном или сероводородом, и занимают колоссальные площади морского дна. Открытие погонофор привлекло внимание к сообществам, которые основаны не на фотосинтезе растений, а на хемосинтезе бактерий. Эти сообщества, конечно же, играют существенную роль в экономике природы.

Одна сенсация за другой

История изучения погонофор полна сенсаций и драматизма. Написав о них монографию, Артемий Васильевич и представить себе не мог, что ждет его впереди! Тогда еще не был известен обособленный, обычно отрывающийся задний отдел тела погонофор. Лишь позднее выяснилось, что питание погонофор осуществляется за счет симбиотических бактерий, населяющих особый орган (трофосому), замещающий кишечник (первоначально предполагалось, что органами питания служат щупальца). Лишь позднее стало понятно, что стороны тела погонофор определялись ошибочно — спинная сторона оказалась брюшной. В дроблении, трактовавшемся как радиальное, были обнаружены черты спиральности.

Как только появилось известие о наличии у погонофор обычно отрывающейся задней части тела [7], Артемий Васильевич отыскал этот отдел в своих коллекциях и тщательно его исследовал. Столь же подробно, на собственном материале, с помощью ученицы и сотрудницы М.А.Гуреевой им было изучено эмбриональное развитие погонофор и документально аргументирована новая собственная его интерпретация.



Артемий Васильевич и Ольга Михайловна Иванова (Казас) после бракосочетания. 1937 г.

Но и на этом описываемая здесь история не кончается. Во второй половине 70-х годов XX в. благодаря использованию глубоководных обитаемых аппаратов в гидротермах морских впадин были открыты уникальные сообщества. При этом среди животных, высоко специализированных к весьма специфической среде обитания, были обнаружены гигантские черви (до метра и более длиной и сравнительно толстые), лишенные кишечника, со странным передним концом тела, составленным из двух спаянных половин (так называемых обтуракулов), обрамленных целым лесом щупалец. Первооткрыватели этих глубоководных гигантов (вестиментифер) представили их как чрезвычайно своеобразных животных, достойных выделения в самостоятельный тип.

Как только Артемий Васильевич познакомился с этими работами, он сразу же сопоставил их с хорошо известными ему погонофорами и понял, что вестиментиферы — это тоже погонофоры. Попытки связаться с американскими коллегами для сов-

местного изучения вестиментифер не удалось, но их добыли и наши отечественные зоологи. Сборы проводились начиная с 1986 г., во время рейсов научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш». Добывавшие вестиментифер сотрудники Института океанологии А.В.Галкин и Л.И.Москалев передали Артемию Васильевичу часть своего материала, и он форсировал его обработку. Изготовление срезов было поручено его сотруднице Р.В.Селивановой, и она прекрасно с этой работой справилась. Были получены многочисленные высококачественные серии срезов. Невзирая на слабое зрение (пользуясь одним, лишенным хрусталика глазом), Артемий Васильевич сам рассматривал препараты и смог получить собственное представление об организации вестиментифер. В результате была написана последняя посвященная им сводка академика Иванова [8].

Артемий Васильевич разработал основы сравнительной анатомии, сравнительной эмбриологии и системы погоно-



На «Витязе» в Индийском океане. Артемий Васильевич, Борис Евсеевич Быховский, Александр Александрович Стрелков. 1954 г.

фор. Его монографии до сих пор остаются для отечественных и зарубежных зоологов основополагающими морфологическими сводками (1960, 1963, 1994). Им обоснован тип и класс *Pogonophora* с тремя подклассами: *Perviata*, *Monilifera* и *Vestimentifera* (название *Perviata* было предложено для «обычных» погонофор после открытия вестиментифер).

В монографии о вестиментиферах В.В.Малахов и С.В.Галкин (1998) принимают классификацию, в которой ранг выделенных Ивановым таксонов оценивается еще выше: погонофоры — тип, подразделяющийся на два подтипа и три класса.

Об этих высоких таксонах тоже нужно помнить, когда мы говорим, что Иванов обосновал новый тип. В наши дни он насчитывает более 160 видов. В Зоологическом институте РАН находится самая богатая коллекция погонофор: более 80 видов и более 200 единиц хранения; создана база данных по этой группе. С ней успешно работает преемник Иванова Р.В.Смирнов.

Вместе с тем вклад академика Иванова в науку далеко не исчерпывается этими выдающимися исследованиями.

Не только погонофоры

Сфера работ Артемия Васильевича широка и многогранна. Еще в школьные годы он занимался сбором и определением растений и насекомых. Его первая научная публикация касалась бабочек (1925). Будучи студентом Горы-Горецкого сельскохозяйственного института, он сопровождал зоолога П.Ф.Соловьева и ботаника И.Г.Василькова в поездке на Дальний Восток, знакомился с местной флорой и фауной, собирал насекомых. Между прочим, он нашел вид тлей, очень интересовавший профессора А.К.Мордвилко — специалиста по этой группе. В годы обучения в Ленинградском университете (1926—1930) на возглавляемой профессором А.В.Догелем кафедре зоологии беспозвоночных он проходил морскую практику на Мурманской биологической

станции, участвовал в экспедиционном рейсе, где занимался сбором бентоса (1928). После окончания университета работал как морской биолог на Дальнем Востоке — участвовал в крупномасштабных работах по выяснению биологических ресурсов отечественных морей, их промыслового значения. Эти работы проводились под руководством профессора К.М.Дерюгина, выдающегося ученого и организатора науки.

В начале 30-х годов в дальневосточных морях осуществлялись регулярные научно-промысловые рейсы, причем были годы, когда в разных морях одновременно проходили две экспедиции. В этих рейсах участвовал и молодой зоолог Артемий Иванов — работал в Японском море, Татарском проливе, в Чукотском и Беринговом морях. Именно тогда проводились первые отечественные глубоководные траления (до 4000 м), причем Иванов в них участвовал и как тралмейстер! Работавший вместе с ним в рейсе 1932 г. (в Чукотском и Беринговом морях на траулере «Дальневосточник») его друг с тех лет, ныне член-корреспондент А.П.Андряшев вспоминает, что уже тогда Артемий Васильевич был вполне определившимся зоологом-морфологом, но к гидробиологическим работам относился с большой ответственностью: «Особенно это касалось глубоководных тралений, выполнение которых было связано с рядом технических трудностей. Артемий Васильевич всегда лично руководил всем процессом траления, и благодаря его изобретательной деятельности нам впервые в отечественной практике удалось взять донный трал с глубины 3800 метров». Маленькая биологическая группа океанографической экспедиции работала тогда под руководством Иванова, входивший в нее Андряшев был еще студентом третьего курса.

Результат этих работ — статьи по бентосу Приморья и Та-

тарского пролива, Берингова и Чукотского морей (1931, 1937, 1973). Кроме того, Иванов специально исследовал промысловых беспозвоночных. Так, им были обнаружены, охарактеризованы и рекомендованы к промыслу запасы моллюска сахалинской мактры и креветки шримса-медвежонка (1930, 1931, 1955). Позднее он написал руководства по водным промысловым беспозвоночным — «Промысловые беспозвоночные дальневосточных морей» (1949, в соавторстве с А.А.Стрелковым) и учебник «Промысловые водные беспозвоночные» (1955). Ими пользуются и поныне.

Направление, заданное Догелем

Все же основные интересы Иванова лежали в области сравнительной анатомии, филогенетики и эволюционной морфологии. Он продолжил это направление исследований, основанное на кафедре зоологии беспозвоночных Ленинградского университета его учителем В.А.Догелем. Валентин Александрович создал на кафедре три научных направления: протистологическое, эколого-паразитологическое и сравнительно-анатомическое; в дальнейшей разработке двух последних направлений есть огромный вклад Иванова.

Собираясь на Дальний Восток и намереваясь изучать иглокожих, Артемий Васильевич обратился за советом к профессору Д.М.Федотову, крупному специалисту по этой группе, с которым он познакомился на Мурманской биологической станции. Дмитрий Михайлович обратил внимание молодого пытливого зоолога на паразитических брюхоногих моллюсков, которых он сам находил на иглокожих (большинство живет на морских звездах и ежах). Открылось обширное, еще не возделанное поле. Паразитические гастроподы чрезвычайно интересны тем, что их предки неоднократно пере-

ходили к паразитизму, причем сохранились формы, которые позволяют представить, как шли процессы адаптации, какие морфологические преобразования при этом осуществлялись. На этом материале можно решать задачи и эволюционной морфологии, и экологической паразитологии, что в конечном итоге блестяще продемонстрировал Артемий Васильевич. Собрав основной материал в дальневосточных экспедициях, он посвятил изучению его все предвоенные годы. Эти исследования вылились в обе его диссертации (1938, 1944). В результате было выявлено и описано большое многообразие форм, выстроены сравнительно-анатомические ряды, выяснены филогенетические связи паразитических гастропод, охарактеризованы морфологические адаптации к паразитизму, рассмотрены способы и закономерности морфологической эволюции. На обобщающих морфологических исследованиях стоит остановиться особо.

Первым крупным теоретическим обобщением Иванова в области эволюционной морфологии была его сводка 1937 г. «Морфологические адаптации к паразитическому образу жизни» (подписанная: «аспирант А.В.Иванов»). В этой работе Иванов применяет метод аналогии своего учителя — Догеля. Он сопоставляет морфологические преобразования, совершенно независимо происходившие при переходе к паразитизму, у исследованных им брюхоногих моллюсков и у ракообразных, подробно рассмотренных по данным литературы. Это ему было нужно для того, чтобы выявить некие общие закономерности в развитии морфологических адаптаций к паразитизму.

В этой же аспирантской работе наряду с общебиологической проблемой адаптаций обсуждаются чрезвычайно важные в методологическом отношении вопросы, касающиеся оценки эволюционного состояния ор-

ганов и систематизации способов (как писал А.Н.Северцов — модусов) изменений органов в истории их развития, т.е. морфологических преобразований, которыми эти состояния достигаются. По существу речь идет об элементарных процессах макроэволюции. Иванов обратил внимание на ту методологическую сторону морфологии, которую тогда еще только начали принимать во внимание. Работа Северцова о филогенетических модусах (1931), новая в те годы, была опубликована на немецком языке и еще не получила широкой известности.

Заслуга академика Северцова в том, что он предложил систематизировать способы морфологических преобразований. Естественно, в первую очередь его интересовало адаптивное значение этих преобразований. Поэтому в основу классификации Северцовым был положен функциональный принцип. Иванов построил свою классификацию модусов на морфологическом основании — в его классификации эволюционные шаги оценивались с конструктивно-морфологической стороны. Она нацелена на то, чтобы учесть и обозначить типы морфологических преобразований — всех, какие могут происходить с органами в ходе их эволюции (от возникновения до исчезновения).

Благодаря углубленным сравнительно-анатомическим исследованиям паразитических брюхоногих моллюсков при подготовке практического руководства по зоологии беспозвоночных («Большого практикума») Иванов стал хорошо ориентироваться в организации гастропод, что побудило Догеля настоятельно рекомендовать ему написать сводку по брюхоногим моллюскам для составлявшегося в те годы «Руководства по зоологии». В результате Артемий Васильевич составил фундаментальную сводку по классу *Gastropoda* с собственной концепцией формирования их морфологического типа (1940).

О выдержавшем три издания «Большом практикуме по зоологии беспозвоночных» хочется сказать особо. На кафедре Догеля самостоятельной работе студентов придавалось большое значение. Для такой работы и было создано специальное руководство, послужившее многим поколениям студентов. В создании его Иванов принял самое активное участие, начиная со студенческих лет, когда он сам много работал по этой учебной программе на Мурмане и в Петергофском биологическом институте, а потом уже специально готовил учебное пособие. В результате он хорошо знал многие группы животных, в том числе такие многочисленные и важные, как моллюски, кольчатые черви, немертны, паукообразные. По паукам им написано специальное руководство (1955).

В начале войны Артемий Васильевич находился в блокадном Ленинграде и участвовал в противоэпидемических работах. А после эвакуации в 1942 г., оправившись от тяжелой дистрофии, по заданию Саратовского облисполкома занимался выявлением запасов двусторчатых моллюсков (таких как беззубка и перловица) с целью использования их в качестве дополнительного пищевого ресурса. Кроме того, он продолжал исследования паразитических гастропод.

На Южном Сахалине

Сразу же после войны (с 1946 г.) он участвовал в Курило-Сахалинской экспедиции, вместе с коллегами и друзьями Б.Е.Быховским, Е.Ф.Гурьяновой и А.А.Стрелковым работал на Южном Сахалине, где главным образом изучал интересовавших его ресничных червей (турбеллярий). Быховский заинтересовал его тогда удонеллидами — странной группой плоских червей, которые обитают на ракообразных, в свою очередь пара-

зитирующих на некоторых морских рыбах. В то время был известен лишь один вид удонеллид (*Udonella caligorum*), который рассматривали как аберрантного представителя класса моногеней. Таким образом, у Артемия Васильевича возник интерес к плоским червям в целом. И эта новая сфера исследований захватила его на многие годы.

Результатом исследований на Южном Сахалине стала статья по бескишечным турбелляриям [9]. Он подробнейшим образом описал три новых вида (еще один вид был описан по живому экземпляру). Эта статья была высоко оценена Беклемишевым и использована им в руководстве по сравнительной анатомии. Она вошла в ряд классических исследований по бескишечным турбелляриям, очень интересным в морфологическом и филогенетическом отношении.

Артемий Васильевич далеко не случайно обратил внимание на ресничных червей. Читая лекции по зоологии и сравнительной анатомии, он отмечал, что эта группа очень интересна для разработки проблем эволюционной морфологии и филогенетики. Особенно это относится к бескишечным турбелляриям. Он подготовил материалы для книги Догеля (1954) с изложением учения об олигомеризации. Неслучайно Артемий Васильевич и своего аспиранта (Ю.В.Мамкаева) направил на изучение ресничных червей. Итогом этих исследований была их совместная книга по турбелляриям [10]. Последняя статья Иванова по ресничным червям опубликована в 1991 г.

Что касается *Udonella* (см. выше), то ее таксономический статус до сих пор остается дискуссионным. Заслуга Иванова в том, что он со свойственной ему тщательностью исследовал ее строение и сопоставил его со строением моногеней и турбеллярий. Особенно впечатляет проведенная им реконструкция выделительной (протонефридиальной) системы. В ней он

описал набор специализированных выделительных клеток (паранефроцитов), которые связаны с главными протонефридиальными каналами и в то же время открываются наружу также с помощью особой сети капилляров. Тем самым была обнаружена протонефридиальная система, имеющая два выхода — через обычные выводные каналы, кончающиеся мочевыми пузырями, и через открывающуюся наружу систему капилляров, берущих начало от паранефроцитов. Принимая во внимание главным образом эти данные, Иванов предложил выделить удонеллид в самостоятельный класс плоских червей. Позже эти данные были подтверждены специально проведенными электронно-микроскопическими исследованиями его аспирантки Е.Е.Корнаковой. В последние годы удонеллид (теперь различают несколько видов) вновь стали относить к моногеней, но уже на новом уровне исследований. Оказалось, что Иванов рассматривал *Ucaligorum* те детали строения (открывающуюся наружу капиллярную сеть, отходящую от паранефроцитов), которые не видели у моногеней его предшественники.

Чем не фагоцителла!

Нужно упомянуть еще о двух направлениях творчества Иванова. Это разработка проблемы происхождения многоклеточных животных и теоретические обобщения по проблемам эволюционной морфологии и построению большой системы многоклеточных организмов — Metazoa.

Интерес к проблеме происхождения многоклеточных животных появился у Иванова благодаря чтению курса сравнительной анатомии беспозвоночных, в котором он опирался на представления И.И.Мечникова и В.Н.Беклемишева и собственные исследования ресничных червей, особенно бескишечных



На Беломорской биологической станции с учениками. Слева направо: Юрий Сергеевич Миничев, Юрий Викторович Мамкаев, Артемий Васильевич, Кирилл (?) Багета, Раиса Васильевна Селиванова, Ольга (?) Бубко. 1967 г.

турбеллярий. Как вспоминает супруга Артемия Васильевича Ольга Михайловна Иванова-Казас, он брал в экспедицию на «Витязе» необходимую литературу, работал в свободное время над теоретическими вопросами и в последнем длительном рейсе 1959—1960 г. сделал набросок своей первой статьи о происхождении многоклеточных, за которой последовала целая серия статей и фундаментальные монографии [11], удостоенные в 1975 г. Золотой медали имени И.И.Мечникова.

В связи с этой проблемой у Артемия Васильевича возник большой интерес к трихоплаксу (*Trichoplax adhaerens*) — крайне просто устроенному многоклеточному животному, переоткрытому в начале 70-х годов австрийским зоологом К.Грелем.

По мнению Иванова, трихоплакс — живая модель гипотетической мечниковской фагоцителлы, предка многоклеточных с паренхимной организацией. Грель же трактовал его как подтверждение выдвинутой О.Бючли гипотезы плакулы, постулирующей изначальное наличие у предков многоклеточных двух эпителиальных пластов. Артемию Васильевичу захотелось самому посмотреть на это интригующее животное. И случай представился! Ю.И.Полянский, работая во Франции на Роскофской станции, собирал трихоплаксов и делал тотальные, окрашенные кармином препараты, заключенные в бальзам. Препараты получили. Бальзам растворили, трихоплаксов извлекли, заключили в парафин и порезали. Оказалось, что между так на-

зываемыми «дорзальным» и «вентральным» эпителиальными слоями у трихоплакса находится масса клеток. Кроме того, Артемию Васильевичу удалось доказать наличие у него фагоцитоза. Чем не фагоцителла! Эта точка зрения развита в статьях и в монографии 1973 г. Разработка Иванова остается актуальной, поскольку дискуссии продолжаются и по сей день.

Интерес к общим эволюционным и филогенетическим проблемам также связан у Артемия Васильевича с работой над курсом сравнительной анатомии. Кроме того, большим стимулом было осмысление организации погонофор и определение их места в системе билатерий. В результате им обоснована собственная система многоклеточных организмов. Вмес-



С правнуком Андреем. 1988 г.

те с тем в этой связи он со свойственной ему обстоятельностью и скрупулезностью рассматривал важнейшие проблемы сравнительной анатомии и сравнительной эмбриологии, такие как эволюция мезодермы, целома, зародышевых листков. Освещались и общие, методологические проблемы эволюционной морфологии и филогенетики. Последние его обобщения опубликованы уже посмертно, в руководстве «Протисты», ч.1 [12].

Преемственность

И все же главное открытие, прославившее Артемия Васильевича Иванова, — погонофоры. Это, безусловно, одно из крупнейших событий в зоологии XX в., которое Н.Н.Воронцов в книге «Развитие эволюционных идей в биологии» (1999) сравнил с открытием новой планеты Солнечной системы. Действительно, после обнаружения в насыщенных сероводородом или метаном илах сообществ, существующих за счет хемосинтеза, появился стимул по-новому представить возникновение жизни (отнюдь не только на ос-

нове фотосинтеза). Иванов показал, что погонофоры — рано обособившаяся группа, прошедшая длительный путь эволюции. В результате сформировался особый план строения (как минимум, крупный своеобразный морфологический тип), давший специфическое морфологическое многообразие.

По сей день погонофоры привлекают внимание ученых, в том числе и в Зоологическом институте, в созданной Артемием Васильевичем лаборатории эволюционной морфологии, где работают его ученики разных поколений. Непосредственным преемником Иванова в изучении погонофор стал Р.В.Смирнов — молодой, нестандартно мыслящий зоолог, который увлечен разработкой классификации этой массовой группы животных, поиском их родственных связей и положения в системе. Используя все доступные для сравнительного анализа морфологические характеристики, он выделил новые таксономические признаки и составил определительные таблицы для таксонов всех рангов — от видов до отрядов погонофор. Что же касается филогении и таксономического ранга всей группы, то, судя по определенному Смирновым набору конкретных морфологических особенностей, наиболее близка она к кольчатым червям (Annelida) и, в частности, к одному из классов этого типа — многощетинковым червям (Polychaeta). Тем не менее Смирнов предлагает рассматривать погонофор в качестве самостоятельного класса, отстоящего от полихет так же, как малощетинковые черви (Oligochaeta) и пиявки (Hirudinea). Это несколько отличается не только от заключений Иванова, выделявшего погонофор в самостоятельный тип, но и от мнения некоторых зарубежных зоологов, до сих пор включающих их в класс полихет [13].

Однако не только мир погонофор волнует сотруddников ла-

боратории. Как и при Иванове, здесь по-прежнему, но уже с использованием современных методов, ведутся сравнительные анатомические и гистологические исследования отдельных групп беспозвоночных животных и выясняются морфологические закономерности их эволюции. Так, один из авторов этой статьи (Ю.В.Мамкаев), еще аспирантом начавший работать под руководством Артемия Васильевича, а впоследствии сменивший его на посту заведующего лабораторией, развивает учение Иванова о формировании новых планов строения на примере плоских червей, опираясь при этом на идею исходного морфологического многообразия и склоняясь к парафилетической интерпретации эволюции крупных таксонов (типов и классов животных).

Многие из учеников Иванова сейчас работают в других учреждениях и в других городах, но всех их объединяет принадлежность к одной научной школе. Ученик Иванова старшего поколения О.А.Тимошкин руководит лабораторией водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН (Иркутск). В сфере его научных интересов — морфологическое разнообразие ресничных червей (Turbellaria) Байкала, где обитает 164 вида и подвида (т.е. примерно десятая часть мировой пресноводной фауны турбеллярий), из которых около 98% — эндемики озера. Он полагает, что именно здесь расположен очаг видообразования этих животных.

В.Д.Гуляев возглавляет лабораторию паразитоценологии и ихтиологии Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск) и занимается одной из важных проблем эволюционной морфологии — адапциоморфозом. На примере ленточных червей (Cestoda) он убедительно доказал, что эволюция паразитов может сопровождаться не упрощением их организации (мор-

фологическим регрессом), как принято считать, а ее существенным усовершенствованием, причем биологический прогресс достигается не только за счет крупных морфологических приобретений (ароморфоза), но и незначительных изменений (алломорфоза).

Продолжаются исследования конкретных морфофункциональных систем и других групп беспозвоночных. Разумеется, не все занимающиеся этим зоологи принадлежат к школе академика Иванова, но все они имеют прямое отношение к эволюционной морфологии. Такие специалисты работают сегодня по всей стране и за ее пределами, на всех зоологических кафедрах университетов и в лабораториях других биологических учреждений. В ряде университетов и в академических институтах уже сложились свои направления в области сравнительной морфологии и, можно сказать, уже сформировались свои школы. Но нельзя не признать, что, как бы они ни развивались, вклад в их формирование был внесен исследованиями и трудами академика А.В.Иванова, который, хотя и стремился к детальному и всестороннему пониманию организации беспозвоночных животных, в первую очередь был крупным теоретиком в области сравнительной эволюционной морфологии.

Обсуждению проблем эволюционной морфологии была посвящена международная конференция, проводившаяся в Зоологическом институте РАН осенью 2006 г. В ее подготовке участвовали и другие научные и учебные заведения города (Санкт-Петербургские научный центр, общество естествоиспытателей, союз ученых, а также Биологический научно-исследовательский институт и кафедры зоологии беспозвоночных и эмбриологии Санкт-Петербургского государственного университета). В оргкомитет, помимо российских зоологов, вошли их коллеги из Финляндии и Дании.

Приуроченная к 100-летию со дня рождения академика А.В.Иванова, конференция тем не менее была организована не только как мемориальная сессия, подчеркивающая заслуги выдающегося отечественного ученого и показывающая развитие его идей и основанных им научных направлений. Это единственная за многие годы крупномасштабная встреча зоологов-эволюционистов, на которую они собрались, чтобы обсудить насущные проблемы морфологии, эволюционного учения, филогенетики и систематики. Она оказалась настоящим праздником и собрала немалое число участников из самых разных российских биоло-

гических точек и из соседних стран.

Характерно, что в конференции участвовали зоологи, палеонтологи и специалисты по беспозвоночным и позвоночным животным не только среднего и старшего поколений, но и совсем молодые — свыше 30 кандидатов наук, аспирантов и студентов. Судя по докладам, их исследования ведутся на самом современном уровне и в значительной мере уже на собственной технической базе. Основная задача состоит в том, чтобы их исследования могли продолжаться в стране, плечом к плечу с их учителями, чьи знания и опыт могли бы позволить развиваться намеченным направлениям и были поддержаны достойной материальной базой.

На заключительном заседании была присуждена очередная Премия имени академика А.В.Иванова; ее вручили А.В.Ересковскому (доценту кафедры эмбриологии биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета), давшему новые оценки морфогенезов у губок (Porifera). В прежние годы этой премии были удостоены В.В.Малахов и А.В.Адрианов (1996), С.А.Карпов (1999) и О.А.Тимошкин (2002), достижения которых отмечены на юбилейной конференции памятными дипломами. ■

Литература

1. *Uschakow P.V.* // Zoologischer Anzeiger. 1933. Bd.104. №7—8. S.205—208.
2. *Jobanson K.E.* // Zoologischer Anzeiger. 1937. Bd.117. №1—2. P.23—26.
3. *Беклемишев В.Н.* Основы сравнительной анатомии беспозвоночных. М., 1944.
4. *Иванов А.В.* Погонофоры. М.; Л., 1960.
5. *Ivanov A.V.* Pogonophora. L., 1963.
6. *Иванов А.В., Селиванова Р.В.* // Биология моря. 1992. №1—2. С.27—39.
7. *Webb M.* // Sarsia. 1964. №16. P.47—58.
8. *Ivanov A.V.* // Zool. Jahrb. Syst. 1994. V.121. №4. P.410—456.
9. *Иванов А.В.* // Тр. Зоол. Инст. АН СССР. 1952. №12. С.40—132.
10. *Иванов А.В., Мамкаев Ю.В.* Ресничные черви (Turbellaria), их происхождение и эволюция. Филогенетические очерки. Л., 1973.
11. *Иванов А.В.* Происхождение многоклеточных животных. Филогенетические очерки. Л., 1968.
12. *Иванов А.В., Колчинский Э.И.* Пути и закономерности эволюции // Протисты. Руководство по зоологии / Ред. С.Д.Степаньянц. СПб., 2000. С.29—85; *Иванов А.В.* Систематика и ее задачи // Там же. С.85—97; *Иванов А.В.* Система животного мира // Там же. С.97—113.
13. *Halanycb K.M., Feldman R.A., Vrijenboek R.C.* // Biological Bulletin. 2001. №201. С.65—75.

Эволюционная морфология в России оживает

Размышления после конференции

член-корреспондент РАН В.В.Малахов

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Российская школа эволюционной морфологии зародилась более 150 лет назад. Ее основателем, наверно, следует считать К.Бэра. Строго говоря, он не был настоящим эволюционистом, но его открытия в области сравнительной эмбриологии позвоночных и закон зародышевого сходства стали основой эволюционного толкования событий в индивидуальном развитии животных. Дарвин хорошо знал и ценил работы Бэра, рассматривая обнаруженные им закономерности эмбриогенеза как важнейшее подтверждение справедливости эволюционной теории. Фигура сидящего в раздумье Бэра встречает посетителей Зоологического музея и Зоологического института РАН (ЗИНа). Многие десятилетия мимо этой скульптуры проходил, направляясь в свою лабораторию, выдающийся российский биолог академик Артемий Васильевич Иванов, 100-летие со дня рождения которого отметили в 2006 г. биологи России и многих других стран.

А.В.Иванов был младшим современником В.Н.Беклемишева и В.А.Догеля. Его многое сближает с этими выдающимися биологами. Так же, как они, Артемий Васильевич не был узким специалистом, а занимался различными группами беспозвоночных. Так же, как они, он много работал в области паразитологии. Так же, как они, не избегал при-

кладных проблем и внес большой вклад в разработку практических вопросов промысла морских беспозвоночных. На протяжении второй половины XX в. имя академика Иванова было символом российской эволюционной морфологии беспозвоночных, и не удивительно поэтому, что состоявшаяся в ЗИНе конференция, посвященная юбилею этого выдающегося российского биолога, называлась «Проблемы эволюционной морфологии животных». Она проходила в течение четырех дней (с 30 октября по 2 ноября 2006 г.), на ней было представлено 80 работ, из которых 33 прозвучали как устные доклады. Открыл конференцию ближайший ученик Артемия Васильевича, ныне руководящий работой морфологов-эволюционистов в ЗИНе, — Ю.В.Мамкаев, рассказавший об основных направлениях работы академика Иванова.

По широте охвата групп животных, разнообразию методов и подходов, масштабности затронутых проблем эта конференция стала самым значительным форумом биологов-эволюционистов за все годы, прошедшие со времени распада СССР. Думаю, что Артемий Васильевич мог бы гордиться тем, что в стенах его родного института, в котором он проработал долгие годы, удалось провести такую представительную и содержательную конференцию.

В последние полтора десятилетия эволюционная морфо-

логия переживает период бурного и быстрого прогресса. Еще 20 лет назад многим казалось, что «золотой век» эволюционной морфологии остался далеко позади, и из живой развивающейся науки она превратилась в чисто образовательную дисциплину, место которой в учебниках и хрестоматиях, а не на страницах научных журналов. За прошедшее десятилетие все изменилось. Эволюционная проблематика стала одной из самых популярных направлений биологии. Многочисленные публикации, причем в самых модных (науку делают люди, а люди подвержены моде во всем) научных журналах, таких как «Nature», «Science» и др., — одно из доказательств возрождения интереса биологов к проблемам морфологической эволюции. Что же явилось источником неожиданного прогресса такой казалось бы устоявшейся, в полном смысле классической области биологии? То же, что и всегда — новые методы и новые идеи. Новые методы — это иммуноцитохимия в сочетании с конфокальной лазерной сканирующей микроскопией, которая позволяет делать объемные реконструкции нервной, мышечной и других систем органов, как на уровне отдельной клетки, так и на уровне организма в целом. Новые методы — это исследование экспрессии гомеобоксных генов, которые регулируют процессы развития

и позволяют найти новые, подчас совершенно неожиданные гомологии в строении организмов. Новые методы — это стремительно разросшаяся, созревшая и даже перезревшая молекулярная филогенетика, основанная на сравнении последовательности нуклеотидов в консервативных генах. Всего этого не было или почти не было при жизни Иванова.

Увы, но для российской науки появление в последнем десятилетии XX в. новых методов исследования прошло почти «без последствий». Ни для кого не секрет, что 90-е годы минувшего века и первые годы нынешнего стали для российской науки периодом выживания, во время которого стремительно разрушался и без того небогатый приборный парк, а о развитии новых методов не приходилось и мечтать. Либеральные реформаторы забыли о российской науке, как дети забывают осенью некогда любимого щенка или котенка на холодной непопленной даче. Пусть простят мне, вероятно, неуместные в этой статье сравнения, но временами мне казалось, что российская наука перешла ту черту, за которой голодающего уже невозможно вернуть к жизни даже усиленным питанием, и будущим поколениям просто придется создавать науку в России заново. Может быть, первый раз за все послеперестроечные годы возникло ощущение, что российская наука оживает.

Открыв программу конференции, можно найти несколько докладов, посвященных исследованиям организации нервной системы и мускулатуры различных беспозвоночных животных (плоских и кольчатых червей, коловраток и др.). Выполнены они с применением лазерной конфокальной микроскопии и современных иммуноцитохимических методов. Компьютер, управляющий конфокальным микроскопом, создает целостную картину организа-

ции нервной системы или мускулатуры, которую можно увидеть сразу целиком, повертев с разных сторон, и в то же время рассмотреть каждую нервную клетку. Именно такие картины были представлены в докладах сотрудников лаборатории эволюционной морфологии ЗИНа, которой многие годы заведовал академик Иванов (Е.А.Котиковой, О.И.Райковой, О.В.Зайцевой и Т.П.Маркосовой), а также сотрудников кафедры зоологии беспозвоночных МГУ им. М.В.Ломоносова (А.Э.Жадан, А.Б.Цетлина и А.В.Филипповой).

Один из наиболее эффективных подходов в современной эволюционной эмбриологии — исследования экспрессии гомеобоксных генов (в частности, *Hox*-генов — универсальных регуляторов морфогенеза). Набор этих генов сходен у представителей разных эволюционных ветвей билатерально-симметричных животных. Исследователи научились выявлять экспрессию этих генов, т.е. места в зародыше, где эти гены проявляют активность. Это дает возможность устанавливать гомологию осей и сторон тела, сегментов, отдельных органов в очень далеких группах животных: ведь если один и тот же ген проявляет активность в разных по положению и функции органах, то, скорее всего, эти органы имеют общее происхождение. Именно об этом шла речь в докладе эмбриологов Биологического научно-исследовательского института СПбГУ (Т.Ф.Андреевой, М.А.Кулаковой, Е.Л.Новиковой, Н.И.Бакаленко).

К сожалению, на конференции практически отсутствовали доклады по молекулярной филогенетике. Молекулярная биология — это тот самый чудо-ребенок, который со свойственной вундеркиндам жестокой бесцеремонностью обыгрывает седовласых гроссмейстеров. И действительно, молекулярная филогенетика за считанные годы сломала родословные дере-

вья, которые эволюционные морфологи кропотливо выращивали многими десятилетиями. Современная система крупных таксонов животного царства, основанная на достижениях молекулярной филогенетики последнего десятилетия, совершенно не похожа на те классификации, которые создавали зоологи, в том числе и классики российской эволюционной морфологии — Беклемишев, Догель, Иванов и др. Однако все мы знаем, какую цену платят вундеркинды за свое опережающее развитие. Молекулярная филогенетика стремительно развивалась, созрела и ... перезрела. Пышно расцветавшие в середине 90-х годов XX в. молекулярные филогенетические деревья уже в первые годы XXI в. достигли пределов своего роста и перестали приносить новые плоды. В настоящее время молекулярная филогенетика остро нуждается в новых подходах, но пока их нет. Может быть, поэтому на конференции не было представителей российской молекулярной филогенетики, хотя такие исследования активно ведутся в МГУ и других научных учреждениях.

Основная часть докладов конференции посвящена новым данным, полученным в результате детальных и кропотливых наблюдений над строением и развитием животных. Зоологи продолжают делать новые удивительные открытия. Так, Е.В.Ворцпенева, А.Э.Жадан и А.Б.Цетлин рассказали о маленькой тайне природы, которую им удалось раскрыть. Зоологи давно знали о живущем в илистом грунте морском кольчатом черве *Laonice*. Поскольку этот червь в общем нечасто попадал в руки зоологов, их не очень удивляло, что все найденные экземпляры были самками, — ну не попались самцы, и все тут. Более интересным казалось, что на *Laonice* паразитирует другой маленький червь *Asetocalamyzas*. Авторы доклада обратили внимание, что все паразиты — самцы.

Сравнив последовательности ДНК хозяина и паразита, они обнаружили их полную идентичность. Паразит и хозяин оказались самцом и самкой одного вида! Передний конец карликового самца внедряется в тело самки, кровеносные сосуды самца и самки переплетаются, образуя подобие плаценты. В итоге самец полностью переходит на питание за счет самки. Паразитическое существование самца привело к упрощению и редукции многих систем органов, даже головной мозг исчезает у беззаботного альфонса-оплодотворителя. Ранее подобный случай был известен только у глубоководных рыб-удильщиков, где карликовый паразитический самец тоже срастается с самкой.

Петербургский зоолог И.С.Смирнов обнаружил не менее интересный случай «гнездового паразитизма» у антарктических иглокожих — офиур (этих родственниц морских звезд за гибкие извивающиеся лучи называют еще и змеехвостками). Многие виды офиур вынашивают зародышей в специальных сумках. Так вот, оказалось, что один вид офиур умудряется пересадить своих зародышей в сумку другого вида, который и вынашивает чужое потомство. Ну, чем не аналогия с кукушками, подкладывающими яйца в гнезда других видов птиц!

Многие эволюционные события в мире беспозвоночных предвосхищают то, что происходит в эволюции позвоночных животных. Эволюционная морфология — единая наука, поэтому в конференции приняли участие выдающиеся специалисты в области эволюционной морфологии позвоночных животных. Московский палеонтолог Е.Н.Курочкин рассказал о происхождении и ранней эволюции птиц. Его доклад был основан на анализе новых находок мезозойских птиц и близких групп рептилий. Оказалось, что возникновение перьев не связа-

но с приспособлением к полету, как обычно считают. Многие хищные наземные динозавры-тероподы были покрыты перьями. Знаменитый археоптерикс, который нарисован во всех учебниках, вовсе не был предком настоящих птиц. Археоптерикс — это представитель параллельной ветви так называемых ящерохвостых пернатых динозавров (они действительно имели длинный, как у большинства рептилий, хвост). Ящерохвостые дали большое разнообразие летающих форм, которые процветали в юрском и меловом периодах, но в конце мезозоя вымерли, не оставив потомков. Эволюционная линия, ведущая к настоящим веерохвостым птицам, начинается задолго до появления археоптерикса, она идет от обитавшего в триасовом периоде протоависа. На протяжении юрского и мелового периодов разнообразные формы ящерохвостых и веерохвостых существовали параллельно. Морфологические преобразования, которые вели к возникновению птицеподобного облика, также происходили в нескольких группах ящерохвостых и веерохвостых независимо.

Идеи параллельной эволюции при формировании крупных групп животного царства пустили глубокие корни в палеонтологии. Как известно, еще Дж.Симпсон предполагал, что разные группы млекопитающих происходят от разных групп рептилий. Идеи параллельной эволюции в процессе «маммализации» (приобретения черт млекопитающих) развивал выдающийся отечественный палеонтолог Л.П.Татаринов. В то же время молекулярные биологи настаивают на строго монофилетическом происхождении всех млекопитающих, т.е. от единого предка. Однако сторонники параллелизма отнюдь не сдаются. Вот и в докладе А.О.Аверьянова из ЗИНа приводятся аргументы в пользу того, что многие чер-

ты млекопитающих приобретены разными филогенетическими ветвями независимо. Аверьянов уверен в том, что и живорождение, и подвижность плечевого пояса, и особое строение коренных зубов так же, как многие другие ключевые особенности организации млекопитающих, возникли в разных группах. Интересным кажется и то, что непосредственные предки млекопитающих — одна из групп триасовых цинодонтов — были очень маленькими (всего 5–15 г). Получается, таким образом, что в процессе эволюции на пути от карликового цинодонта до синего кита (который весит 150 т) масса тела млекопитающих увеличилась в 10 млн раз!

Одна из ключевых проблем эволюционной морфологии позвоночных — происхождение наземных животных (тетрапод). Основополагающий вклад в решение этой проблемы внес выдающийся отечественный эволюционист И.И.Шмальгаузен. Его взгляды развивает один из лидеров московской школы эволюционных морфологов Э.И.Воробьева. В ее докладе также проводятся идеи параллельного возникновения признаков наземных позвоночных в нескольких эволюционных линиях кистеперых рыб. Близкие к предкам тетрапод кистеперые рыбы жили в настолько мелких водоемах, что передвигаться в них обычным для рыб способом было неэффективно. Из доклада Воробьевой следует, что хождение на четырех конечностях возникло раньше перехода к наземному образу жизни. Неуклюжие девонские кистеперые рыбы по большей части не плавали, а ходили на четырех конечностях по дну тесных, временами полностью пересыхающих луж или бочажков. Оказалось, что первые наземные позвоночные больше похожи на молодую кистеперую рыбу, чем на их взрослых представителей. Вероятно, в происхождении четвероногих боль-

шую роль играл педоморфоз — т.е. раннее достижение половозрелости организмом, который еще не успел приобрести взрослые специализированные черты.

В конференции приняли участие коллеги из Финляндии (М.Густафсон и И.Рейтер) и Дании (К.Нильсен). Директор Зоологического музея Копенгагенского университета зоолог Клаус Нильсен известен во всем мире не только блестящими работами по эмбриональному и личиночному развитию мшанок, внутриворонковых и брахиопод, но и теоретическими построениями в области эволюционной морфологии и филогении беспозвоночных. Его доклад «Развитие мозга *Spiralia*» поднимает проблему происхождения нервной системы у кольчатых червей, моллюсков и других трохофорных животных. Нильсен пришел к выводу, что центральная нервная система кольчатых червей и моллюсков происходит из двух источников: парных головных ганглиев, которые закладываются вокруг теменного органа личинки, и брюшной нервной системы, которая образуется за счет нервного сплетения вокруг щелевидного первичного рта. При всем уважении к Нильсену как к одному из самых видных представителей европейской эволюционной морфологии не могу не отметить, что в значительной степени его построения повторяют идеи российского биолога В.Н.Беклемишева, высказанные им в замечательной книге «Основы сравнительной анатомии беспозвоночных», первое издание которой вышло еще в 1944 г. Идеи Беклемишева не остались неизвестными для коллег из Европы и Северной Америки. Его книга в 1958 г. была переведена на немецкий язык, а в 1969 г. и в 1970 г. вышло два издания на английском языке (в Чикаго и Эдинбурге). Во многом мысли Беклемишева обогнали свое время, и научное

сообщество оказалось неспособным воспринять идеи российского морфолога. Некоторые теоретические концепции, которые сейчас питают развитие эволюционной морфологии, как это нередко бывает, в действительности вовсе не новы, их просто не поняли в свое время. Оказывается, сформулировать правильные мысли недостаточно, важно сформулировать их в нужное время — не раньше и не позже того узкого периода, когда коллеги будут способны их понять.

Все это напоминает мне мою собственную историю. В середине 1970-х годов я, будучи еще аспирантом, написал статью «Проблема основного плана строения вторичноротых животных», в которой на основе сравнительно-анатомического анализа доказывал, что хордовые — перевернутые животные (их спинная сторона гомологична брюшной стороне других животных). Идея перевернутости впервые прозвучала еще в XIX в., в знаменитом споре Ж.Сент-Илера и Ж.Кювье, который состоялся в Париже в 1830 г. Как известно, в том споре Сент-Илер доказывал, что все животные устроены по одному плану, а Кювье говорил о несводимости друг к другу четырех принципиально различных планов строения (позвоночных, членистых, моллюсков и лучистых). Доказывая единство планов строения членистых и позвоночных, Сент-Илер говорил: «Взгляните на рака, опрокинутого на спину, вы увидите, что все системы органов располагаются у него так же, как у позвоночных животных». Впоследствии эта мысль возникла у создателя знаменитой Неаполитанской зоологической станции А.Дорна, который сравнивал хордовых и перевернутых кольчатых червей, и у некоторых других морфологов XIX в. К началу XX в. зоологи отвергли идею переворота, потому что стали очевидны глубокие различия между хордовыми

(как вторичноротыми животными) и членистоногими и кольчатými червями (как представителями первичноротых). А хордовых стали выводить из полухордовых — червеобразных морских организмов, у которых нашлась и нервная трубка, и жаберные щели и другие признаки хордовых, и притом — без всякого переворота. Это и стало доминирующей концепцией, которая излагалась в учебниках (и в отечественных, и в зарубежных).

И вот, я — двадцатипятилетний аспирант, который писал диссертацию на совсем другую тему (о развитии морских нематод), предложил возродить идею перевернутости, но уже применительно к вторичноротым животным. Хордовые — это перевернутые вторичноротые, — такова была главная мысль моей статьи. Я послал ее в редакцию «Журнала общей биологии», а они передали статью на рецензию А.В.Иванову. Для того времени идея перевернутости выглядела совершенно сумасшедшей, и я видел, какие сомнения мучили Артемия Васильевича (рецензент не захотел остаться анонимным и пожелал встретиться с автором), и все же он дал положительный отзыв и в последующем никогда не выступал против моей гипотезы. В 1977 г. статья, наконец, была опубликована (тогда статьи держали в редакции года по два) [1], а позже увидел свет научно-популярный вариант [2]. После этого я несколько раз докладывал свою концепцию происхождения хордовых на разных совещаниях на родине, докладывал и за рубежом — на юбилейном симпозиуме Неаполитанской зоологической станции, как раз там, где жил и работал Дорн, который тоже был сторонником идеи перевернутости. Правда, сказать, что никакой реакции на мои статьи не было, я не могу. Супруга Артемия Васильевича — выдающийся отечественный эмбриолог О.М.Иванова-Казас — подверг-

ла мою гипотезу острой критике, а в 1984 г. выступила с гневной статьей в «Зоологическом журнале» [3]. Вся статья была посвящена критике моей концепции, и по уровню полемического накала ее следовало бы назвать «Анти-Малахов» (по аналогии с «Анти-Дюрингом» Ф.Энгельса, которого мое поколение усиленно изучало в обязательных курсах марксистской философии). «Вся концепция В.В.Малахова базируется на поверхностных сходствах и различиях и напоминает натурфилософские построения начала XIX в.», — писала Ольга Михайловна.

Прошло время, наступили те самые, трудные для российской науки 90-е, когда во всем мире начали набирать силу исследования роли гомеобоксных генов в развитии организмов. И вот, оказалось, что серия *Hox*-генов, определяющих формирование осевых структур зародыша, у беспозвоночных экспресси-

руется на брюшной стороне, а у позвоночных — на спинной. На основе этого, естественно, был сделан вывод о перевернутости хордовых — их спинная сторона гомологична брюшной стороне других животных [4—7]. Около 20 лет понадобилось, чтобы высказанная в 70-х годах идея оказалась востребованной наукой, и еще 10 лет, чтобы стала новой парадигмой эволюционной морфологии и вошла во все новые учебники. Что же помешало коллегам воспринять ее 30 лет назад? Возможно то, что статьи были опубликованы на русском языке, но ведь и российские коллеги отнеслись к ним отрицательно. Один из авторов упомянутой публикации [4], немецкая исследовательница К.Нюблер-Юнг, сказала мне, что 70-е годы были неподходящим временем для этой идеи... Обо всем этом я и рассказал в своем докладе «Происхождение хордовых: новые и старые идеи» на конферен-

ции, посвященной 100-летию А.В.Иванова.

* * *

Я упомянул лишь некоторые доклады, сделанные на этой замечательной конференции. И пусть простят меня авторы других, не менее интересных и важных сообщений; все они опубликованы в «Тезисах» [8]. Сейчас же, возвращаясь мысленно к холодным дням конца октября—начала ноября 2006 г. со столь типичной для поздней петербургской осени ненастной погодой, я вспоминаю и горячие дискуссии, и радость от дружеского общения с коллегами. Организаторы этого научного форума — сотрудники лаборатории эволюционной морфологии ЗИНа — искренне любили Артемию Васильевича. И эта любовь, сохраненная в их сердцах, наполнила теплотой атмосферу конференции, что сделало ее незабываемой для всех, кто в ней участвовал. ■

Литература

1. Малахов В.В. // Журнал общей биологии. 1977. Т.38. №4. С.485—499.
2. Малахов В.В. Новый взгляд на происхождение хордовых // Природа. 1982. №5. С.12—19.
3. Иванова-Казас О.М. // Зоологический журнал. 1984. Т.63. Вып.4. С.485—499.
4. Nubler-Jung K., Arendt D. // Roux's Arch. Dev. Biol. 1994. V.203. P.357—366.
5. Lacalli T.C. // BioEssays. 1996. V.18. P.251—254.
6. Arendt D., Nubler-Jung K. // Mech. Dev. 1997. V.61. P.7—21.
7. Nielsen C. // Dev. Genes Evol. 1999. V.209. P.198—205.
8. Проблемы эволюционной морфологии животных. Тезисы международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика А.В. Иванова. СПб., 2006.

Последние исследования Меркурия показали, что он обладает жидким металлическим ядром. Тем не менее магнитное поле планеты невелико (менее 1% от земного). Специалисты Института им.М.Планка (Германия) полагают, что ядро окружено слоями, препятствующими возникновению магнетизма. Гипотезу вскоре можно будет проверить — уже через несколько месяцев облет планеты

начнет американский «MESSENGER», а в 2013 г. к Меркурию с Байконура отправится европейско-японский аппарат «Vepri-Colombo».

Sciences et Avenir. 2007. №720. P.17 (Франция).

Группа китайских и американских археологов исследовала остатки обугленных растений возрастом 3300—8000 лет,

найденных в 26 местах долины р.Ялу (север Китая). Оказалось, что хлебные зерновые здесь выращивают около 3,5 тыс. лет; просо было культивировано 4 тыс. лет назад, оно стало наиболее важным растительным продуктом питания местного населения; рис начали высевать примерно 5 тыс. лет назад.

La Recherche. 2007. №405. P.18 (Франция).

Жизнь, посвященная океану

Памяти М.Е.Виноградова

26 мая после тяжелой болезни ушел из жизни выдающийся российский ученый, доктор биологических наук, профессор, действительный член Российской академии наук Михаил Евгеньевич Виноградов.

60 лет Михаил Евгеньевич посвятил науке о Мировом океане, многие десятилетия возглавлял отечественную биоокеанологию, был признанным мировым авторитетом среди исследователей морских и океанских экосистем.

Михаил Евгеньевич родился в Москве в семье научных работников. Окончив школу, он поступил в Московский энергетический институт, но уже после третьего курса перевелся на биолого-почвенный факультет МГУ. Первая для студента Виноградова морская экспедиция состоялась в 1947 г. на Белое море, руководил ею Лев Александрович Зенкевич, впоследствии академик, основатель отечественной биологической океанологии. Затем, тоже в студенческие годы, Виноградов участвовал в экспедициях в Охотское и Берингово моря. В это время и определилось основное направление будущих исследований — морской планктон.

В 1952 г., закончив кафедру зоологии беспозвоночных, Виноградов пришел на работу в Институт океанологии им.П.П.Ширшова в коллектив, возглавляемый ведущим отечественным планктологом, членом-корреспондентом АН СССР Вениамином Григорьевичем Богоровым. Вся долгая и плодотворная жизнь Михаила Евгеньевича в науке была связана с этим институтом. Здесь он прошел все ступени научной иерархии — от младшего научного сотрудника до заместителя директора. В 1956 г. Виноградов защитил кандидатскую диссертацию, в 1965 г. — докторскую диссертацию, в которой были впервые вскрыты закономерности вертикального распределения планктона в океане. Изданная в 1968 г. книга «Вертикальное распределение океанического зоопланктона» была переведена на английский, французский и японский и принесла автору всемирную известность среди океанологов.

Спектр научных интересов и кругозор Михаила Евгеньевича были огромны. Он занимался исследованиями закономерностей распределения жизни в толще океана до предельных глубин в 8—10 тыс. м, морфологией и систематикой планктонных животных (им описаны десятки видов пелагических рачков-амфипод); экологией глубоководного планктона; гидротермальными экосистемами и их влиянием на продуктивность океана; связями между физическими и биологическими процессами в океане; спут-



Михаил Евгеньевич Виноградов
30.05.1927 — 26.05.2007.

никовой биоокеанологией; фундаментальными вопросами методики изучения морских экосистем. Михаил Евгеньевич был одним из основоположников применения обитаемых подводных аппаратов для исследования закономерностей распределения жизни в толще воды и сам многократно участвовал в погружениях: на «Аргусе» и «Осмотре» в Черном море, глубоководных обитаемых аппаратах «Мир» в Атлантическом океане.

Одно из самых плодотворных направлений научной деятельности Михаила Евгеньевича связано с разработкой концепции комплексных исследований морских экосистем и проведением таких исследований в Мировом океане. С конца 60-х годов прошлого века Михаил Евгеньевич и возглавляемый им коллектив занимались изучением структуры и особенностей функционирования сообществ планктона

в разных географических и продукционных областях океана и получили принципиально новые данные об уровне биологической продукции важнейших компонентов этих сообществ. В ходе этих исследований была разработана концепция сукцессионной изменчивости морских экосистем и ее влияния на потоки вещества и биологическую продукцию, созданы модели продукционных процессов в различных океанических районах. Важнейшими результатами огромной работы, за которой стояли годы морских экспедиций, стали одни из первых в мире оценок интегральной величины первичной продукции в Мировом океане, запасов фито- и зоопланктона, районирование океана по биопродуктивности и определение предела возможного изъятия биологических ресурсов человеком. Комплексные исследования структуры и функционирования морских экосистем легли в основу научной школы академика Виноградова, хорошо известной в стране и за рубежом.

Много времени Михаил Евгеньевич посвятил исследованиям экосистем гидротермальных источников на дне океана, существующих за счет энергии хемосинтеза. В результате этих исследований было показано, что гидротермальные экосистемы квазизамкнуты по органическому веществу и их необычайно высокая биологическая продукция практически не влияет на прилежащие пространства океана.

Любимым «детищем» Михаила Евгеньевича была экосистема Черного моря, исследования которой он возглавлял без малого 40 лет и к которым привлек лучших ученых-океанологов. Венцом этой работы стало принципиально новое понимание закономерностей функционирования черноморской экосистемы; механизмов воздействия на нее видов-вселенцев — гребневиков мнемипсиса и берое, роли климатических факторов в динамике популяций вселенцев и в их воздействии на промысловый потенциал бассейна.

Важнейшей областью научной деятельности Михаила Евгеньевича была организация крупных комплексных экспедиционных исследований морских и океанических экосистем. Сам он участвовал в 32 морских экспедициях, начиная с первых рейсов научно-исследовательского судна «Витязь» в дальневосточные моря и первой Советской антарктической экспедиции. Без преувеличения можно сказать, что нет в Мировом океане ключевых регионов, где бы Михаил Евгеньевич не работал сам или не работали бы экспедиции, которые он планировал. Именно эти экспедиции дали принципиально новое понимание структуры и динамики экосистем океана, и в них во многом сформировалась современная школа отечественных биоокеанологов. Чтобы приблизиться к научной школе Виноградова, многие

ученые мечтали попасть в возглавляемые им морские экспедиции. В «плавающих морских институтах», которые создавал Михаил Евгеньевич на крупнейших научно-исследовательских судах Института океанологии — старом и новом «Витязе», «Академике Курчатове», «Дмитрии Менделееве», «Академике Мстиславе Келдыше», — собирались ведущие специалисты по морской науке из многих институтов Советского Союза и России.

Михаил Евгеньевич много времени отдавал научно-организационной работе. Он был генеральным секретарем Международного океанографического конгресса и экспертом ЮНЕСКО по планктону, членом SCOR (Scientific Committee for Ocean Research — Научный комитет по океаническим исследованиям), вице-президентом Всесоюзного гидробиологического общества, председателем Межведомственной ихтиологической комиссии, заместителем председателя океанографической комиссии при Президиуме РАН, руководителем секции наук о Мировом океане Отделения наук о Земле РАН. Михаил Евгеньевич возглавлял редколлегии журнала «Океанология» и «Вопросы рыболовства», был членом редколлегий целого ряда российских и международных журналов, в том числе «Биология моря», «Природа», «Marine Biology». В течение 30 лет он руководил биологическим направлением Института океанологии и 36 лет — Лабораторией функционирования экосистем пелагиали. Более 20 лет был профессором кафедры общей экологии и гидробиологии биофака МГУ. 25 учеников Михаила Евгеньевича защитили кандидатские, а трое — докторские диссертации.

Михаил Евгеньевич — автор более 450 научных работ, автор и ответственный редактор 12 монографий, многие из которых переведены и изданы в США, Японии, Израиле, Франции, Новой Зеландии и Польше.

Научная и научно-организационная деятельность Михаила Евгеньевича высоко оценена научным сообществом и государством. В 1984 г. он избран членом-корреспондентом, а в 1990 г. — действительным членом Академии наук СССР, в 1998 г. — почетным иностранным членом Польской академии наук. Михаил Евгеньевич — лауреат Государственной премии, награжден орденом Трудового Красного Знамени, орденом Почета, многими медалями. Ему присуждены премия Польской академии наук и премия им.Ф.Н.Красовского за создание атласа «Природа и ресурсы Земли».

Михаил Евгеньевич прожил долгую, богатую и счастливую жизнь, блестяще реализовав себя в деле, которое он любил и считал важным. Он оставил нам научную школу, учеников, знание Океана, пример преданности делу и любви к Океану, на которых стоит наша наука.

Новости науки

Космология

Трехмерное распределение темного вещества

Построить карту распределения непосредственно не наблюдаемого темного вещества кажется почти невозможным, однако это было сделано благодаря широкому международному сотрудничеству с целью анализа огромного массива наблюдательных данных, собранных космическим телескопом «Hubble» и несколькими наземными обсерваториями. Итогом этой работы стала трехмерная карта распределения темного вещества в обширной части Вселенной.

Свидетельства существования темного вещества впервые были получены в 1933 г., когда швейцарский астрофизик Ф.Цвикки, работавший в Калифорнийском технологическом институте, вывел, что галактическое скопление Кома не могло бы оставаться гравитационно связанным без тяготения дополнительной, скрытой массы. За несколько десятилетий исследований стало ясно, что темного вещества во Вселенной гораздо больше, чем видимого¹. Недавние космологические расчеты позволили предположить, что большая часть темной материи отличается от обычной, состоящей из барионов (протонов и нейтронов), и представляет собой некую пока неизвестную форму небарионного вещества.

Прямое доказательство того, что темное вещество взаимодействует

¹ Прямое доказательство существования темного вещества // Природа. 2007. №6. С.82; см. также: В поисках темного вещества // Там же. 2005. №9. С.77; *Вибе Д.З.* В эллиптических галактиках все-таки есть темное вещество // Там же. №3. С.78.

с обычным только гравитационно, было получено в 2006 г. До последнего времени возможность построить пространственное распределение темного вещества была ограничена отдельными галактиками и их скоплениями. Шаг вперед представляет собой новое исследование, демонстрирующее регистрацию темного вещества на гораздо более обширном участке небесной сферы и на больших расстояниях вдоль луча зрения². Международная группа во главе с Р.Масси, также сотрудником Калифорнийского технологического института, изучила данные обзора неба COSMOS (Cosmic Evolution Surveys). Этот обзор включает мозаику из 575 полей зрения широкогоугольной камеры, смонтированной на телескопе «Hubble»; каждая экспозиция охватывает участок неба площадью почти 2 кв. градуса, что в восемь раз больше диска Луны. Темное вещество дает о себе знать гравитационным отклонением лучей света, испускаемых далекими источниками. Такой эффект гравитационного линзирования слегка искажает формы далеких галактик. Именно этот слабый эффект был измерен для примерно 500 тыс. галактик, включенных в обзор неба COSMOS, и проанализирован статистически для вывода расчетного распределения темного вещества.

Картирование темного вещества в третьем измерении было получено путем тщательного отбора галактик по расстоянию до них. Наблюдаемое искажение их формы вызвано в основном темным веществом, расположенным где-то на пути до них вдоль луча зрения. Используя это предположение, исследователи смогли

² *Massey R. et al.* // Nature. 2007. V.445. P.286–290.

построить первую трехмерную карту распределения темного вещества в диапазоне расстояний, соответствующих красным смещениям <1 . Пространственная область, охваченная данным обзором, представляет собой, таким образом, не прямоугольный «ящик», а конус, простирающийся на 7 млрд св. лет. Чтобы определить расстояния до галактик — источников света — посредством измерения их красного смещения, наблюдения велись в 15 диапазонах длин волн с помощью четырех наземных телескопов.

Полученная карта весьма примитивна, поскольку предположение о нахождении отклоняющей лучи темной материи на полпути от источника вынужденно и неточно. Тем не менее на ней можно проследить некоторую эволюцию от более однородного к более комковатому распределению темного вещества, как и ожидается в модели гравитационной неустойчивости, и это прокладывает путь для более детальных обзоров, которые могли бы дать картину распределения масс с более высоким разрешением и с охватом более обширных областей Вселенной.

CERN Courier. 2007. V.47. №1. P.11 (Швейцария).

Астрофизика

Рекордная скорость вращения нейтронной звезды

Жизнь звезды не заканчивается, даже когда она взрывается как сверхновая: на месте прежнего гигантского светила остается его маленькое сердце — нейтронная звезда диаметром около 10 км и массой в 1–2 M_{\odot} . Внутреннее пространство нейтронной звезды —

самое экзотическое место, какое астрономы только могут себе представить.

Если нейтронная звезда вращается вокруг «нормальной» звезды, ее сильное гравитационное поле способно стягивать с соседки газ и окутывать им собственную поверхность. Когда толщина покрова достигает 5–10 м, в газе начинается взрывное термоядерное горение. Мощное высвобождение энергии обычно длится от нескольких секунд до нескольких минут и сопровождается всплеском излучения в рентгеновском диапазоне.

Именно во время одной из таких активных фаз и была обнаружена нейтронная звезда XTE J1739-285. Впервые она наблюдалась еще 19 октября 1999 г. с помощью спутника RXTE (Rossi X-Ray Timing Explorer, NASA) — отсюда ее обозначение. В августе 2005 г. объект XTE J1739-285 начал возвращаться к жизни. По стечению обстоятельств именно в это время проводились обзорные наблюдения балджа Галактики (центрального уплотнения галактического гало) на космическом гамма-телескопе «Integral». Месяц спустя «Integral» обнаружил на нейтронной звезде первые короткие рентгеновские всплески.

На протяжении сентября и октября 2005 г. активность звезды продолжала нарастать, и руководитель программы мониторинга балджа Галактики Э.Куулкерс (E.Kuulkers; Европейская южная обсерватория, Чили) решил проинформировать об этом исследователя нейтронных звезд Ф.Каарета (Ph.Kaaret; Университет Айовы, США). В период с 31 октября по 16 ноября Каарет организовал наблюдения объекта XTE J1739-285 с помощью спутника RXTE. Всего с сентября по ноябрь «Integral» и RXTE зафиксировали почти 20 всплесков.

Предыдущие наблюдения других нейтронных звезд продемонстрировали, что на рентгеновское излучение во время вспышки накладываются осцилляции, частота которых определяется скоростью вращения звезды. Поэтому группа

начала анализ всплесков объекта XTE J1739-285 на предмет наличия колебаний. Результат оказался поразительным. Осцилляции были действительно обнаружены во время самого яркого всплеска, зафиксированного 4 ноября 2005 г. спутником RXTE. Их частота почти в два раза превосходила все измеренные до этого значения.

Поначалу ученые не поверили собственным результатам. Однако после выполнения ряда проверок они убедились, что рентгеновское излучение XTE J1739-285 действительно осциллирует с частотой 1122 Гц, т.е. звезда совершает 1122 оборота в секунду!

Самые быстрые из известных до сих пор нейтронных звезд вращаются с частотами до 620 Гц. Статистический анализ имевшихся данных привел некоторых астрономов к выводу, что самая быстрая нейтронная звезда может вращаться с частотой не более 760 Гц. Если новые наблюдения подтвердятся, объект XTE J1739-285 превысит это ограничение.

«Наше измерение слегка выходит за грань того, что мы раньше полагали реальностью. Поэтому нужно больше наблюдений, чтобы нам поверили все», — говорит Куулкерс¹. Дело не просто в непривычно большом значении. Частота вращения 1122 Гц накладывает серьезное ограничение на модели нейтронных звезд: они не могут вращаться со сколь угодно большой скоростью. Если вращение будет слишком быстрым, даже мощная гравитация звезды не сможет удержать вещество на поверхности, и звезда разрушится. Точная скорость разрыва зависит от строения нейтронной звезды, которое пока астрономам доподлинно не известно. Если удастся найти больше звезд с частотой вращения в этом диапазоне, это определенно позволит исключить некоторые модели их внутренней структуры.

Пока же остается запастись терпением. А астрономы тем временем будут следить за новыми всплесками не только объекта XTE

J1739-285, но и других быстровращающихся рентгеновских нейтронных звезд.

© Вибс Д.З.,
доктор физико-
математических наук
Москва

Астрономия

Гигантская далекая галактика оказалась близкой карликовой

Галактика NGC 5011C расположена в направлении созвездия Центавра и проецируется сразу на два больших семейства галактик — относительно малочисленную группу галактики Центавр А, удаленную от нас на 13 млн св. лет, и богатое скопление галактик, расположенное в 12 раз дальше. На небе она одновременно тесно соседствует с линзовидной галактикой NGC 5011B. Большинство галактик действительно образуют физически связанные пары или более многочисленные группировки, поэтому неудивительно, что на протяжении 23 последних лет астрономы считали звездные системы NGC 5011B и NGC 5011C реальной парой. Это означало, что расстояние до NGC 5011C примерно равно расстоянию до NGC 5011B (которое измерено уже давно), и обе они находятся в далеком скоплении галактик.

Забавно, что за все это время никто не попробовал непосредственно определить расстояние до NGC 5011C. Все считали ее гигантской галактикой, правда, с несколькими необычными свойствами, пока И.Савиен (I.Saviane; Европейская южная обсерватория, Чили) и Х.Джерджен (H.Jerjen; Обсерватория Маунт Стромло, Австралия) не обратили внимание на странное обстоятельство. Тесное соседство на небе систем В и С означало, что в пространстве их разделяет ничтожно малое расстояние всего в 45 тыс. св. лет — это едва ли половина поперечника Млечного Пути. Галактики должны были оказывать друг на друга сильнейшее гравитационное воздействие. Однако какие бы то ни было

¹ Kuulkers E. // *Astroph. J.* 2007. V.657. PL97.

признаки такого воздействия отсутствовали...

Савиен и Джерджен воспользовались 3,6-метровым телескопом Европейской южной обсерватории, чтобы получить спектры этих галактик и определить расстояния до них по красному смещению спектральных линий. Анализ спектров показал, что предыдущие оценки расстояния до NGC 5011C были глубоко неверными. В далеком скоплении галактик находится только NGC 5011B, тогда как NGC 5011C принадлежит группе галактики Центавр А. Она удалена от главного члена группы — ближайшей к нам гигантской эллиптической галактики Центавр А (NGC 5128) — на 500 тыс. св. лет.

Новая оценка расстояния объяснила и свойства галактики NGC 5011C, которые ранее казались необычными: для гигантской галактики она слишком невыразительна, лишена четкой структуры и обладает слишком низкой звездной плотностью. Новое расстояние все расставило по местам: NGC 5011C — не далекий гигант, а существенно более близкая к нам галактика-карлик! И потому выглядит как типичная карликовая эллиптическая звездная система массой всего около 10 млн M_{\odot} . Другие свойства галактик В и С также сильно различаются. В частности, NGC 5011B содержит гораздо больше тяжелых элементов, чем NGC 5011C.

«Итак, — говорит Савиен, — наши наблюдения подтвердили наличие нового члена близкой галактической группы Центавр А, истинная природа которого из-за путаницы в координатах и неверной оценки расстояния была скрыта от ученых на протяжении 23 лет».

The Astronomical Journal. 2007. V.133. P.1892 (США).

Ядерная физика

Загадка нейтрино решается

Группа ученых Лаборатории им.Э.Ферми опубликовала первые результаты экспериментов с но-

вым нейтринным детектором MiniBooNE, позволившие объяснить расхождение данных эксперимента LNSD (Large Neutrino Scintillation Detector) в Лос-Аламосе (1990-е годы) с другими экспериментами по детектированию нейтрино. Новые наблюдения приводят к однозначному выводу: результаты LNSD нельзя объяснить одними лишь нейтринными осцилляциями.

Результаты эксперимента LNSD можно было бы интерпретировать как нейтринные осцилляции, но тогда пришлось бы допустить, что масса нейтрино радикально отличается от оценок, полученных при других исследованиях. Примирить эти расхождения можно было бы также, если допустить существование, помимо известных трех типов нейтрино, еще одного, «стерильного» типа, с иными свойствами. Существование стерильных нейтрино указывало бы на физику, отличающуюся от Стандартной модели, — вот почему было чрезвычайно важно получить независимое подтверждение результатов LNSD.

В эксперименте MiniBooNE данные для анализа собирались с 2002-го до конца 2005 г. с помощью мюонных нейтрино, получаемых на ускорителе Лаборатории им.Э.Ферми. Детектор представлял собой емкость, заполненную 250 тыс. галлонов сверхчистого минерального масла и расположенную на расстоянии около 500 м от источника мюонных нейтрино. Внутри емкости было смонтировано 1280 светочувствительных фотоэлектронных умножителей, регистрирующих столкновения между нейтрино и ядрами углерода в заполняющем емкость масле.

Ранее сотрудники этой лаборатории искали электронные нейтрино, создаваемые мюонными нейтрино в диапазоне масс, на который указывали результаты LNSD, при этом они использовали метод слепого эксперимента, чтобы повысить доверие к своему анализу и его результатам. В процессе накопления данных исследователи не имели доступа к данным, попадающим в область, или «ящик», где они могли бы ожи-

дать обнаружение тех же осцилляций, что и в LNSD. Когда же они открыли «ящик» и сделали данные доступными, искомый эффект не проявился.

Хотя эксперимент с детектором MiniBooNE решительно исключил возможность интерпретировать результаты LNSD как осцилляции между двумя типами нейтрино, ученым Лаборатории им.Э.Ферми есть чем заняться: начиная с января 2006 г. эта группа накапливает данные, полученные теперь уже на пучках антинейтрино вместо нейтрино, и ждет дальнейших результатов от новых данных исследований.

CERN Courier. 2007. V.47. №4. P.8 (Швейцария).

Физика. Электроника

Нанотрубки учатся читать

Одно из наиболее замечательных свойств углеродных нанотрубок — большая длина релаксации спина (она обусловлена слабым спин-орбитальным взаимодействием и высокой скоростью носителей — 10^8 см/с). Международная группа специалистов из Аргентины, Великобритании, Испании, США и Франции использовала это качество для считывания и передачи спиновой информации¹. Изготовленная ими структура имеет гигантское магнетосопротивление и работает как спиновый клапан.

Многостенная углеродная нанотрубка длиной 1,5 мкм, обладающая металлической проводимостью, соединяет два электрода из манганита ($La_{0,7}Sr_{0,3}MnO_3$). Экспериментаторы выбрали для электродов этот материал, поскольку спиновая поляризация тока при низкой температуре у него составляет почти 100%, в то время как у металлических ферромагнетиков — меньше 40%. Если оба контакта намагничены одинаково, электроны по нанотрубке свободно перетекают из одного в другой. Если намагниченность разнополярная, то один контакт не допускает в себя электроны из другого,

¹ Huesol L.E. et al. // Nature. 2007. V.445. P.410—413.

потому что его собственные электроны с противоположной спиновой поляризацией имеют слишком высокую энергию. Эффект гигантского магнетосопротивления, по мнению исследователей, появляется во многом благодаря туннельному барьеру, который естественным образом возникает на контакте нанотрубки с металлом.

При температуре 5 К достигнуты величина магнетосопротивления 65% и большой выходной сигнал — 65 мВ. По оценкам, длина релаксации спина в нанотрубке при данной температуре составляет 50 мкм. Однако и продемонстрированная в эксперименте возможность передачи считанной спиновой информации на довольно большое (в масштабах схем с нанометровыми элементами) расстояние впечатляет, ведь в обычных металлических структурах с гигантским магнетосопротивлением немагнитный материал, помещаемый между двумя магнетиками, имеет толщину всего несколько десятков ангстремов. К сожалению, при температурах выше 120 К эффект гигантского магнетосопротивления в представленной структуре пропадает.

Работа открывает путь к созданию принципиально новой архитектуры компьютеров.

http://perst.iissph.kiae.ru/Inform/perst/2007/7_04/index.htm

Биоакустика

Городские птицы меняют характер пения

Чтобы слышать и быть услышанными сородичами в оглушающем грохоте крупных городов, некоторые виды птиц вынуждены адаптировать свое пение: они повысили его тональность и ускорили ритм!

Этологи Лейденского университета (Нидерланды) изучили поведение черноголовой гайчки (*Parus palustris*). Записи, сделанные в утреннюю пору в 10 европейских мегаполисах (включая Париж, Лондон, Прагу, Амстердам), содержат точные характеристики «акцента птицы-горожанина», разительно

отличающегося от пения синиц, живущих в лесу или в деревне. Более короткие и более громкие трели разделены более короткими промежутками времени, а их самые низкие частоты значительно выше, чем у полевых птиц.

Таким образом, из-за мощного низкочастотного гула городской жизни и интенсивного движения возникла адаптация, необходимая для защиты территории обитания и для привлечения партнеров. Одни виды пернатых способны модифицировать свои вокальные данные и адаптироваться к городским условиям, другие же вынуждены покидать мегаполисы.

Science et Vie. 2007. №1073. P.20 (Франция).

Зоология. Экология

Потепление и инкубация яиц пресмыкающихся

Австралийский герпетолог Д.Т.Бут (D.T.Booth; Университет Квинсленда) в связи с проблемой глобального потепления проанализировал имеющиеся в научной литературе данные о влиянии температуры инкубации на потомство яйцекладущих пресмыкающихся. Специфика температурной зависимости рептилий заключается в том, что они откладывают яйца просто во внешнюю среду, практически не заботясь (в отличие от птиц) о поддержании оптимальной для развития эмбрионов термальной среды. При этом период инкубации может длиться несколько месяцев. Неслучайно некоторые гипотезы связывают вымирание динозавров именно с изменением температурных условий развития их яиц.

На потомство пресмыкающихся температура среды оказывает разностороннее воздействие. Самый яркий феномен — зависимость от температуры соотношения полов в потомстве. Оптимальное соотношение самцов и самок достигается лишь в узком диапазоне температур инкубации; отклонение на 1–2° может привести к тому, что все потомство окажется однополым.

Экспериментальные исследования показывают, что температура инкубации драматически влияет также на постнатальную скорость роста, способность потомства к локомоции, на особенности его поведения и даже на его морфологию. В конечном же счете — на выживаемость потомства. Экспериментальные наблюдения над разными видами крокодилов, черепах, ящериц и змей позволили установить, что и незначительные изменения температуры инкубации существенно изменяют важнейшие биологические качества потомства пресмыкающихся.

Вместе с тем, обобщая данные подобных экспериментов, Бут выяснил, что температурная зависимость эмбрионов разных видов пресмыкающихся носит разнонаправленный характер. Например, повышение температуры инкубации снижает локомоторные способности ужовой змеи *Pituophis melanoleucus* и, напротив, у другой ужовой змеи, *Coluber constrictor*, приводит к их усилению. У игуановой ящерицы *Cyclura nubila* молодь растет быстрее, если инкубация происходила при более высокой температуре, а у настоящей ящерицы *Podarcis muralis* — наоборот.

Таким образом, возможное повышение температуры среды на Земле для разных видов будет иметь разные последствия. Однако Бут делает еще более важный вывод. Сопоставляя различные данные о температурных условиях инкубации яиц пресмыкающихся, он обращает внимание на то, что подавляющее большинство экспериментальных результатов получены при искусственных, постоянных температурах. В природе же температура среды подвержена сильным суточным и сезонным флуктуациям. Кладки большинства видов пресмыкающихся располагаются в неглубоких гнездах и сполна испытывают эти флуктуации. Те эксперименты, в которых учитываются подобные колебания температуры, показывают, что при флуктуирующих термальных условиях небольшие изменения средней температуры инкубации

оказывают на потомство существенно меньшее воздействие, чем наблюдаемое при постоянной температуре.

С одной стороны, заключения австралийского исследователя позволяют с большим оптимизмом оценивать судьбу современных пресмыкающихся в условиях глобального потепления. С другой стороны, они предполагают, что для получения более корректных данных необходимо изменить методологию соответствующих лабораторных экспериментов.

Physiological and Biochemical Zoology. 2006. V.79. №2. P.274–281 (США).

Медицина

Ноотропный дипептид против глутамата

В передаче возбуждения между нейронами участвуют многие медиаторы, главный среди которых — глутаминовая кислота (глутамат). Она играет важную роль в поведенческой активности организма, участвует во многих биохимических процессах. По современным представлениям, возникновение токсических повреждений мозга человека при недостатке кислорода, нехватке глюкозы, дегенеративных болезнях (Альцгеймера, Паркинсона и др.) связано с глутаматом. Он в большом количестве высвобождается во внеклеточное пространство при травме головного мозга и моделировании ишемического инсульта. Известно, что если мозг испытывает недостаток глюкозы и кислорода, то нарушается захват глутамата нервной тканью и потому увеличивается его внеклеточная концентрация. В результате возникают условия для избыточной стимуляции постсинаптических глутаматных рецепторов¹, которая сопровождается увеличенным входом ионов кальция в нейроны, развивается сверхпродукция свободных радикалов. Все это вместе ведет к повреждению, а затем и гибели

ли нейронов. Чтобы защитить их от избытка глутамата, нужно ослабить его действие.

Известно, что некоторые ноотропные препараты не только восстанавливают познавательные функции, но и проявляют защитный эффект в отношении нейронов. Среди таких ноотропов — пиррацетам, но его недостаточная активность и отсутствие убедительных данных о механизме действия побуждают специалистов искать новые препараты.

В НИИ фармакологии РАН создана серия N-ацильных производных пролина, среди которой обнаружены соединения с ноотропной активностью. Самая высокая активность оказалась у этилового эфира N-фенилацетил-L-пролилглицина (модифицированного дипептида, названного ноопептом). Его влияние на уровень спонтанного и стимулированного высвобождения глутамата в срезах коры мозга крыс изучала группа специалистов из НИИ фармакологии и Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН. В обоих случаях ноопепт уменьшал содержание внеклеточного глутамата, причем снижение было большим при меньшей (10^{-6} М, а не 10^{-5} М) концентрации этого дипептида. Авторы полагают, что ноопепт снижает высвобождение глутамата за счет блокады ионных каналов — потенциалзависимых кальциевых каналов, а также калиевых, которые зависят и от потенциала, и от кальция. Таким образом, считают авторы, ноопепт, уменьшая выброс глутамата в межклеточное пространство, выполняет роль нейропротектора, и в этом качестве препарат перспективен для дальнейшего изучения.

Нейрохимия. 2006. Т.23. №2. С.122–126 (Россия).

Экология

Прибрежные экосистемы больших городов

Для определения санитарно-гигиенического состояния водоемов вблизи больших городов требуются комплексные экологические исследования. В Санкт-Пе-

тербурге, например, реконструируются старые и вводятся в строй новые очистные сооружения, в связи с чем было необходимо оценить, как меняется качество воды в Невской губе. Натурные исследования не позволяют получить полную картину распространения сточных вод; кроме того, они требуют значительных затрат. Оптимальным методом решения задачи оказалось гидродинамическое моделирование, выполненное в Санкт-Петербургском отделении Института океанологии РАН, при этом применялись полные трехмерные уравнения гидротермодинамики океана (модель Принстонского университета).

После введения в эксплуатацию юго-западных очистных сооружений Санкт-Петербурга специалисты, рассчитав траектории шлейфов сточных вод в зависимости от различных гидрометеорологических и перераспределения выпусков, оценили изменение качества воды в Невской губе². Было оценено влияние сбросов на баланс общего фосфора (исходную информацию на период до 2017 г. представляло управление «Водоканал»). В случае аварийных ситуаций, например при выходе из строя всех очистных сооружений, содержание фосфора, как показали расчеты, может увеличиться почти вдвое, а введение в строй новых сооружений уменьшит содержание общего фосфора к 2020 г. на 15% по сравнению с 2004 г. С пуском Красносельской станции аэрации существенно улучшится качество вод у южного берега Невской губы, тогда как у северного берега и вокруг о.Котлин (Кронштадт) обстановка почти не изменится. Изучение сезонных колебаний качества вод показало, что наибольшие отклонения от средних условий происходят в осенний период.

Результаты моделирования позволили судить об эффективности дорогостоящей очистки, а также понять, насколько целесообразны дальнейшие работы в этом

² Рябченко В.А. и др. // Известия Русского географического общества. 2006. Вып.5. С.48–57.

¹ Подробнее о рецепторах см.: Балдырев А.А. Нейрональные рецепторы в клетках иммунной системы // Природа. 2005. №7. С.3–8.

направлении. Влияние на местную экологическую обстановку комплекса защитных сооружений («питерской дамбы») несущественно, так как штормовые ситуации с наводнениями имеют среднюю повторяемость один раз в год и продолжаются около суток. Однако решение вопроса о кратковременных воздействиях на качество вод Невской губы нуждается в дальнейших численных экспериментах.

Исследовалось также санитарное состояние прибрежной зоны Северного курортного района Петербурга. Были получены новые сведения о процессах эвтрофикации литоральной зоны восточной части Финского залива¹. Начало цветения воды здесь отмечалось еще в 1911 г. В настоящее время эвтрофикация максимальна вблизи Сестрорецка, Зеленогорска и пос. Комарово. По данным гидрографического, гидрохимического и биологического анализов, а также по картографическим материалам дистанционного спутникового зондирования определены видовой состав прибрежной водной растительности, содержание биогенных элементов и донных отложений. Результаты говорят о длительном влиянии антропогенной нагрузки: по сравнению с 1980—1985 гг. биомасса увеличилась в три раза из-за нерегулируемых бытовых, канализационных, дождевых, сельскохозяйственных стоков, а также загрязнения пляжей. Во всей прибрежной зоне отмечена высокая цветность воды. Очевидна необходимость в усилении природоохранных мероприятий.

© Померанец К.С.,

кандидат географических наук
Санкт-Петербург

Морская биология

Биоразнообразие моря Уэдделла

В темных глубинах Южного океана, вблизи берегов Антаркти-

¹ Потапова Т.М. и др. // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2006. Сер.7. Вып.4. С.78—86.

ды, найдено необычайно широкое разнообразие морских животных. В условиях, считавшихся прежде слишком суровыми для поддержания жизни морских обитателей, открыто свыше 700 новых видов; собраны образцы хищных губок, свободноплавающих червей, ракообразных и моллюсков. Эти исследования проводились в рамках проекта «Andeep» («Antarctic benthic deep-sea biodiversity») — первого обширного изучения глубоководной фауны у берегов Антарктиды. Цель проекта — заполнить пробелы в существующих знаниях о морской биологии глубоководной части Южного океана.

В ходе трех экспедиций, проведенных в море Уэдделла в период между 2002 и 2005 гг., международная группа исследователей собрала десятки тысяч образцов на глубинах от 774 до 6348 м. Изученные участки морского дна — материковый склон, глубоководная равнина и русловые валы, намытые придонными течениями, — кишат всевозможной живностью. Из более 1000 обнаруженных видов многие оказались прежде совершенно неизвестными науке. Так, определено 674 вида из обширного отряда равноногих раков (изопод), в большинстве неописанных; более 200 видов морских червей (полихет), среди которых 81 — новый вид; 76 видов губок, 17 из них прежде неизвестных.

По мнению А.Брандта (A.Brandt; Зоологический институт и Зоологический музей Гамбургского университета), эти находки помогут пролить свет на эволюцию морской фауны в антарктических водах. Сравнивая виды, найденные в глубоководных участках, с теми, что добыты в мелководных прибрежных районах вокруг Антарктиды, ученые смогут лучше понять, как эти животные перенесли случившиеся в прошлом изменения климата и условий окружающей среды.

Неожиданно богатое биоразнообразие вновь открытых глубоководных экосистем заставляет пересмотреть привычные представления о роли антарктических

вод в формировании фауны Мирового океана.

Nature. 2007. V.447. №7142. P.307 (Великобритания).

Археология

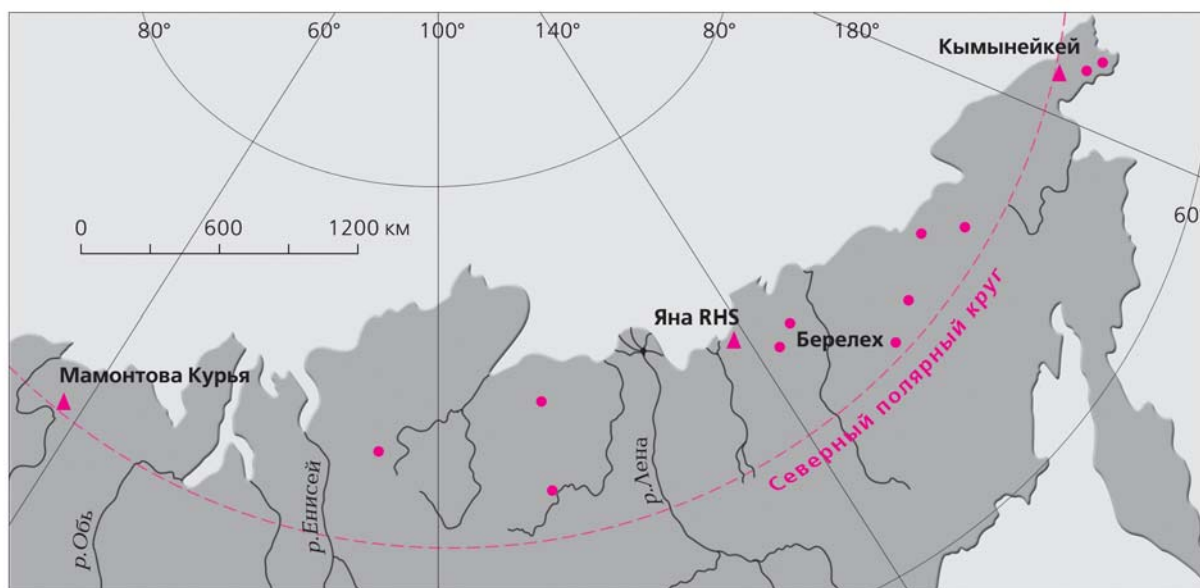
Самая северная в мире стоянка людей эпохи позднего палеолита

На II Северном археологическом конгрессе (Ханты-Мансийск, 24—30 сентября 2006 г.) В.В.Питутько (Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург) представил доклад, посвященный Янской стоянке и новым данным о расселении человека в Арктике². Хотя этот доклад и вызвал огромный интерес, однако сенсацией не стал: взрыв интереса произошел в 2004 г., когда исследователи из Санкт-Петербурга и Москвы во главе с Питутько впервые сообщили об открытии в низовьях Яны, в 120 км от ее устья и севернее 71° с.ш. стоянки, относящейся к ранней стадии позднего палеолита.

До этого момента самой северной в мире стоянкой палеолитического человека считался Берелех, расположенный немного южнее 71° с.ш., на р.Берелех, левом притоке Индигирки. Стоянка эта была открыта в 1970 г. Н.К.Верещагиным. Возраст ее по нескольким ¹⁴C-датам оценивается примерно в 12,5—13 тыс. лет — поздняя стадия позднего палеолита. Позже открыто еще несколько памятников севернее Полярного круга³, но все они относятся к концу позднего палеолита и этапам перехода к мезолиту. Стоянки же средних и ранних стадий позднего палеолита, обнаруженные спустя почти 30 лет после Берелеха, находились намного южнее Полярного круга. Только в конце 90-х годов на северо-востоке европейской части России, в бассейне Печоры, на Полярном круге была открыта сто-

² Питутько В.В. // Доклады II Северного археологического конгресса. Ханты-Мансийск, 2006. С.306—323.

³ Pitulko V. // Quaternary Science Reviews. 2001. V.20. P.267—275.



Некоторые стоянки конца палеолита в Арктике (по V.Pitulko, 2001): кружки – стоянки конца позднего палеолита, треугольники – стоянки ранних стадий позднего палеолита; даны названия памятников, обсуждаемых в тексте.

янка Мамонтова курья¹, для которой имеется серия ¹⁴С-дат 24–37 тыс. лет, однако найдено здесь всего лишь четыре каменных артефакта, относящихся к ранней стадии позднего палеолита. Чуть севернее Полярного круга еще раньше был известен памятник Кымынейкей; здесь каменных артефактов немного больше, но они залегали в морене, которая вынесла их на низменность с гор, со стоянки, разрушенной ледником. По технико-типологическим признакам артефакты Кымынейкей отнесены к ранней стадии позднего палеолита, т.е. им около 30 тыс. лет. Геологические данные подтверждают такой возраст². Таким образом, севернее Полярного круга до XXI в. были известны памятники только поздних стадий позднего палеолита и самой

северной в мире оставалась стоянка Берелех.

По результатам четырехлетних исследований Янской стоянки (Яна RHS), производившихся в условиях высокого стояния сплошной многолетней мерзлоты (методу раскопок археологам приходилось разрабатывать в ходе работ), установлено, что стоянка приурочена ко II 18-метровой террасе р.Яны; она представляет собой группу участков, сохранившихся *in situ*, но рассредоточенных на протяжении 2.5 км в средней части отложений этой террасы на высоте 7–7.5 м. Десятки ¹⁴С-датировок стоянки, полученных в трех лабораториях России и США, определяют ее возраст около 27–28 тыс. лет. Археологический материал однороден: это хорошо выраженная технически и морфологически галечная индустрия без видимой чужеродной примеси. Представлены разнообразные скребла, отщеповые ядрища, грубые двусторонне обработанные чопперы и чоппинги, богатая костяная индустрия.

В материале стоянки нет ничего, что могло бы связывать ее с дюктайской культурой, известной в более южных районах Якутии. Не ясно, является ли янская культура результатом местного развития или ее появление вызвано проникновением на северо-восток Азии населения из Забайкалья и с юга Сибири. Все эти объекты связаны с расселением генетически единой волны кавказоидной (европеоидной) популяции, продвигавшейся 40-50 тыс. лет назад в широтном, а затем и в меридиональном направлениях.

Материалы Янской стоянки позволяют предполагать, что к концу каргинского (среднеюрмского, средневисконсинского) времени палеолитический человек, возможно, уже освоил как Яно-Индигирскую, так и Колымскую низменности. А это значит, что исследователей палеолита Арктики ждут новые сенсационные открытия.

© Лаухин С.А.,

доктор геолого-минералогических наук
Тюмень

¹ Астахов В.И., Мангеруд Я., Свенсен Ю.И. // Тезисы докладов совещания «Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке. СПб., 1998. С.8–9.

² Laukhin S.A., Drozdov N.I. // Prehistory and Ancient History. 1991. V.1. №6. P.175–186.

Рецензии

Неживая старина

Р.А.Симонов,
доктор исторических наук
Москва

Автор книги Вильям Френсис Райан, член Британской академии, известный филолог-славист (знарок средневековых рукописей), изучение русского языка начал еще в средней школе, продолжил в Оксфордском университете. Его диссертация на ученую степень доктора философии имеет прямое отношение к рецензируемому произведению. Можно считать, что Райан не случайно написал свою книгу: она плод всей его жизни. Английский текст книги вышел в 1999 г. [1]. Русский перевод отличается от английского, в частности, дополнительными иллюстрациями, подобранными доктором исторических наук А.В.Чернецовым. Это не имеющий аналога обширный свод русских народных верований и суеверий, магии, колдовства и гаданий. Здесь же представлен и широкий круг европейских аналогий — балканских, греческих, скандинавских, англосаксонских.

Книга Райана является наиболее полным и обстоятельным изложением материала о русской магии в контексте всеобщей истории магии. Наиболее основательно в ней изложены вопросы, связанные с обрядами и терминологией. Повествование строится на подлинных славяно-русских и других текстах (по магии, мантике, астрологии, алхимии и пр.).

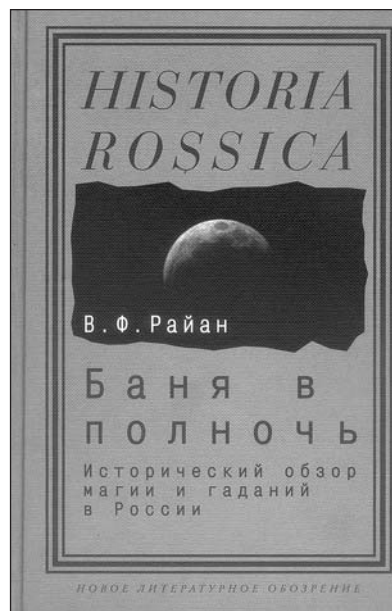
К достоинствам книги можно отнести ее, так сказать, фундаментальную обзорность, поскольку разрозненных публикаций и исследований по русской магии немало как в России, так и за рубежом. Следует также

учесть, что книга Райана может рассматриваться и как учебник при подготовке научных кадров в рассматриваемой области культуры. Как справедливо замечает ответственный редактор русского перевода Чернецов, «возникла возможность вернуть русскоязычному читателю забытые предания отечественной старины, извлеченные в основном из российских рукописных собраний британским исследователем» (С.7).

Кроме того, книга насыщена зарубежной библиографией, которая по большей части недоступна русскому читателю. Но это не так важно и окупается взглядом автора «со стороны» на явления культуры, которые как бы оставались за пределами внимания русского человека из-за их привычности и видимой незначительности.

До сих пор остается не до конца понятным сам феномен магии и ее востребованности отдельными слоями общества в современном мире. Райан не ставит задачу дать ответ на этот вопрос. Косвенно можно заключить, что он магические представления связывает с интуицией. Это следует из того, что многочисленные эсхатологические* и демонологические расчеты, по Райану, «удовлетворяют слишком большому числу инстинктов, чтобы склонность к подобным расчетам могла когда-нибудь бесследно исчезнуть» (С.456). Отсюда можно заключить, что магия, принадлежа к архетипическим представлениям, связана с подсознанием, чем и объясняется устойчи-

* Эсхатологические расчеты относятся к определению времени конца света.



Райан В.Ф. БАНЯ В ПОЛНОЧЬ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАГИИ И ГАДАНИЙ В РОССИИ. Пер. с англ. Отв. ред. А.В.Чернецов.

М.: Новое литературное обозрение, 2006. 720 с.

вость интереса к ней и исключительная сложность научного установления самого феномена магии.

Автор видит в качестве одного из вопросов, на которые общественность обращает пристальное внимание, связь между магией и религией. Его книга не предлагает новых решений «весьма дискуссионного вопроса о природе магии и о ее отличиях от религии. Я лишь отмечаю, что цели магии в России, как и везде, в огромном большинстве отражают личные устремления к сексу, власти, богатству, мести, избавлению от болезни, защите от вреда, причиненного чьими-то магическими действиями. Религии же, даже в своих наименее привлекательных проявлениях, имеют обычно социальные, этические, духовные и теологические аспекты, которые ставят их выше устремлений отдельного индивидуума» (С.15).

Вместе с тем не всегда можно провести четкую грань между магическими и религиозными проявлениями: «Нередко как в Европе, так и в России к различным видам магии прибегали священнослужители основных религиозных конфессий; иногда невозможно четко разграничить формы и функции православной и магической молитвы, иконы и амулета» (С.18).

Не обошел стороной Райан вопрос об отношении к магии советских властей как к составной части старого мира, не заслуживающей обсуждения или подлежащей искоренению: «Нельзя сказать, что игнорировался сам предмет, однако большинство российских ученых до последнего времени не имели возможности отделять задачи научного анализа от целей политической пропаганды и общественного перевоспитания» (С.20).

В современном сознании укоренилось и относится к числу устойчивых (особенно, как ни странно, в кругу ученых-естествоиспытателей) мнение

о магии как исключительно суеверии. К чести автора книги надо сказать, что он борется с этим ограниченным представлением, однако не совсем энергично. В его сочинении магия как метод и средство познания на разных этапах истории, в том числе русской, уходит как бы на периферию основного смысла изложения.

Вопреки декларируемому Райаном нежеланию делать далеко идущие теоретические обобщения, сам даваемый исследователем фактический материал наталкивает на мысль, что за обилием сведений из области магии, кажущихся нередко отрывочными и в значительной степени заимствованными, стоит некая еще неразгаданная картина складывания на Руси попыток рационального познания окружающего мира, облаченного в иррациональные «одежды».

В период Возрождения в Западной Европе вновь возник интерес к древним магическим верованиям, которые стали разрабатываться и в университетах. В связи с этим на медицинских факультетах появились так называемые ятронаправления (от греч. «ятро» — врач) в составе ятроматематики (врачебной астрологии), ятрофизики (врачебной физики), ятрохимии (врачебной химии) и др. В ятро- и других «научных» направлениях, связанных с магией, развивались математика, физика, химия и прочие дисциплины, которые в Новое время переросли в науки современного типа.

Нечто похожее происходило и в России. Райан указывает на определенное знакомство здесь с ятрохимией: «После Парацельса развитие школы ятрохимии естественным образом привело к тому, что значительное число врачей, искавших счастья в Московии (многие из которых были просто авантюристами), должны были претендовать хотя бы на какое-то знание алхимии, не говоря уже об астрологии и других тайных науках, — сле-

дует полагать, что этого просто требовала их квалификация» (С.527—528).

По мнению Райана, на Руси никакого развития математики или астрономии не отмечается вплоть до конца XV в.: «В области календарных расчетов Русь к концу XV века практически не продвинулась дальше тех сведений, которыми располагал Кирик Новгородец (XII век)» (С.563). Однако вновь открытые источники и осмысление прежних данных в их контексте свидетельствуют, что после стадии формирования календарно-арифметических знаний, обусловленных творчеством Кирика Новгородца и его окружения, в XV — первой половине XVI в. существовала неизвестная русская ятроматематическая традиция [2].

В древнерусской книжности встречаются тексты о прогнозировании событий по времени (в часах), которые могут рассматриваться как свидетельства неизвестной в историографии деятельности вольнодумцев, существовавшей преимущественно в Москве сравнительно краткий период в XV—XVI вв. В летописании [3] это отразилось в сообщении под 1404 г. об установлении в Московском Кремле великим князем Василием Дмитриевичем (сыном Дмитрия Донского) «часника» (башенных часов) для «часомерия» (очевидно, выполнявшего и прогностическую функцию). Автором «часника» и, по-видимому, идейным вдохновителем «часомерного» прогнозирования был афонский монах «сербин» Лазарь. Академик Д.С. Лихачев установил эти часы рассматривал в качестве фактора распространения в русском обществе историзма сознания в рамках ренессансных идей русского Предвозрождения [4].

Русское часовое прогнозирование, о котором идет речь, восходит к магической практике Вавилона и Древней Греции (так называемой часовой хрономантии), в которой предсказания

даются по счету времени часами. В истории науки этот способ описывается так: «Разделив сутки на 24 часа, древневавилонские астрологи составили представление, будто каждый час суток находится под покровительством определенной планеты, которая как бы “управляет” им. Счет часов был начат с субботы: первым ее часом “управлял” Сатурн, вторым — Юпитер, третьим — Марс, четвертым — Солнце, пятым — Венера, шестым — Меркурий и седьмым — Луна. После этого цикл снова повторялся...» [5].

Естественно, если часы 1404 г. использовались для хрономантического прогнозирования, то должны были существовать соответствующие славяно-русские «пособия» и следы применения соответствующей магической практики.

Одно из них имеет название «Часы на семь дни: добры и средни и злы». Содержится оно в древнерусском рукописном сборнике середины XV в. Райан о нем упоминает (без исследования) в своей книге: «Существует и перечень “добрых”, “злых” и “средних” часов на каждый из дней недели (например, в воскресенье “час 1 добр, час 2 добр, час 3 зол, час 4 средни...”» (С.547).

Второе хрономантическое «пособие» представляет собой набор таблиц, по которым можно установить прогностическую «окраску» часа любой даты (в прошлом и будущем). Райаном это произведение не упоминается.

Обоим славяно-русским хрономантическим «пособиям» присуща общая удивительная особенность, состоящая в отличной от принятой в классической астрологии птолемеевской «окраске» светил и «управляемых» ими часов. Так, Сатурн был не «злым», а «добрым»; Юпитер не «добрым», а «злым» и так далее. Единственным совпадением была «доброта» Венеры в обеих трактовках — птолемеевской и славяно-русской. Никаких

объяснений оригинальной славяно-русской трактовке светил (по сравнению с общепринятой птолемеевской) в «пособиях» или других средневековых источниках как будто бы не содержится.

Откуда пришла на Русь идея об указанной трактовке светил, или она местного происхождения? В этом вопросе полной ясности нет.

Осудительное отношение к хрономантическому прогнозу, кажется, впервые встречается в послании старца Псковского Елеазарова монастыря Филофея «О злых днях и часах» (ок. 1524 г.). Здесь дается отрицательная оценка прогнозу жизни человека по часу его рождения. Такой прогноз Филофеем причисляет к ложным басням, а соответствующее прогнозирование — к кощунственным деяниям. При этом монах, вопреки ожиданиям, строит изложение не в назидательном духе, а прибегает к логике. Он мотивирует невозможность сотворения Богом «злых» часов тем, что в таком случае Бог не в праве наказывать («мучити») злодеев, которые становятся такими по его воле, родившись в «злой» час.

Решения Стоглавого Собора 1551 г. поставили точку в вопросе о прогнозировании по часам. Оно было запрещено наряду с другими сокровенными практиками: осуждены прорицатели, которые «смотрят дней и часов и теми дьявольскими действиями прельщают и от Бога отлучают». В один из индексов запрещенных для христиан учений, практик и книг в славяно-русском списке XVI в. попало «часомерие». Возможно, так изначально называлось хрономантическое прогнозирование по часам. Но, может быть, как это считается в историографии, оно сперва толковалось как «измеритель времени», а лишь потом стало выражать предсказательную практику по часам [6]. Во всяком случае это произошло, и «часомерие» попало в разряд запрещенных сокровенных знаний.

По-видимому, в одном из последних случаях осудительного упоминания часовая хрономантия «удостоилась» в Кирилловой книге, изданной в 1644 г. по приказу царя Михаила Федоровича. Здесь в ряду гадательных и предвещательных книг и знаний говорилось «о часах добрых и злых». Прогнозирование по часам в Кирилловой книге трактуется наряду с другими отреченными верованиями как относящееся к волхвованию, которому предаются «безумныи люди».

Русская магия, подтверждает Райан, это в основном перемешанный набор магических методик и практик, уходящих корнями в седую древность (Древний Вавилон, античная Греция и Рим). В то же время русская магия с западноевропейской находилась как бы в состоянии общающихся сосудов. Те процессы, которые происходили в Западной Европе, с некоторым запаздыванием и в ослабленной степени, как правило, обнаруживались на Руси. Однако они не всегда были точной копией западноевропейских форм. Так, в период XV — первой половины XVI в. «реанимирование» часовой хрономантии сопровождалось отказом от распространенной по всему миру птолемеевской версии «окраски» времени. Причем за этим может стоять некий содержательный факт, значение которого сейчас непонятно, но его разгадка, возможно, раскроет впоследствии неизвестную страницу русской истории культуры.

Магия в глазах ее русских сторонников могла дополнять сведения о мироустройстве и рассматриваться в качестве метода воздействия на окружающий мир с целью облегчения человеческого существования путем прогнозирования будущего. С церковной точки зрения это было крамолой, неприемлемой для религии, так как тяготы жизни рассматривались в качестве божьей кары за грехи. Их следовало смиренно нести и замаливать перед Богом, а не прибегать

вместо этого к магии. Поэтому магия и другие средства эзотерики считались вредоносными занятиями, нарушающими божественную волю. Вместе с тем данные о русской магии, представленные с достаточной полнотой в книге Райана, как будто бы говорят о том, что магия для русского человека не была религиозным знанием. Нет прямых сведений, что магические представления использовались для

замещения христианской религии хотя бы в какой-то ее части.

К сожалению, не до конца поддающиеся рациональному объяснению пути идеологического давления на развитие научной мысли в советскую эпоху были поистине неисповедимы. Крестьянский, фольклорный аспект народных верований еще оставался более или менее терпимым в академических исследованиях; говорили об антифе-

одальной сущности религиозных движений, о народной утопии. А вот магические и прогностические рукописные тексты, следственные материалы по религиозным преступлениям по иронии судьбы попали в своеобразный круг тем, запрещенных советской цензурой.

Книга Райана представляет собой фундаментальное исследование глубинных корней русской культуры. ■

Литература

1. Чернецов А.В. // Живая старина. 2001. №3. С.25.
2. Морозов Б.Н., Симонов Р.А. // Древняя Русь. Вопросы медиевистики. 2004. №4(18). С.5—21.
3. Полное собрание русских летописей. СПб., 1913. Т.18. С.281.
4. Лихачев Д.С. О филологии. М., 1989. С.148—149.
5. Климишин И.А. Календарь и хронология. М., 1990. С.79—80.
6. Пипуныров В.Н., Чернягин Б.М. Развитие хронометрии в России. М., 1977. С.12.

Медицина

В.В.Сунцов, Н.И.Сунцова.

ЧУМА. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЭПИЗООТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 247 с.

Современный уровень фундаментальных зоолого-паразитологических исследований позволяет существенно углубить представления о происхождении, распространении и динамике природных очагов чумы и выявить новые важные факторы, определяющие специфику эпизоотического процесса в условиях глобального антропогенного воздействия, охватившего все континенты.

Новая книга, посвященная происхождению чумы, выгодно отличается от других изданий своим академическим уклоном и шириной охвата самых совре-

менных научных сведений, касающихся всех уровней организации паразитарной системы этой болезни — от молекулярной генетики возбудителя до ландшафтной эпизоотологии и эпидемиологии.

Показано, что индуктором исходной паразитарной системы чумы «грызун—блоха—возбудитель» было максимальное (сартанское) похолодание, охватившее в конце позднего плейстоцена обширные пространства Северной и Центральной Азии, Сибири и Дальнего Востока. Местом ее первичного формирования стала Центральная Азия, а средой, в которой прошло видообразование возбудителя, — паразитарная система «монгольский сурок *Marmota sibirica* — блоха *Oporsylla silantiewi*».

Авторы предлагают концепцию двух этапов генезиса очагов чумы — естественноисторического и биосоциального.

На первом этапе сформировались первичные (естественные) природные очаги в Евразии, на втором — антропогенные (крысиные) и вторичные природные очаги в Африке, Новом Свете и некоторых районах тропической Азии. Этот подход опирается на положения современной эволюционной теории, последние достижения в области молекулярной генетики и новые палеоклиматические данные.

Энтомология

О.Н.Кабаков. ПЛАСТИНЧАТОУСЫЕ ЖУКИ ПОДСЕМЕЙСТВА SCARABAEINAE ФАУНЫ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 374 с.

Новый том из серии монографий по фауне России посвящен одной из групп пластинчатоусых жесткокрылых жуков (*Lamellicornia*) — подсемейству

Scarabaeinae, которое насчитывает в нашей фауне 115 видов. Будучи важнейшими компонентами степных, пустынных и горных экосистем, эти жуки приносят большую пользу как природные санитары, очищающие поверхность почв от экскрементов различных животных, особенно на пастбищах рогатого скота. Они зарывают в землю и съедают большое количество помета, который в противном случае остался бы на поверхности, ухудшая травостой и служа рассадником мух. Но жуки-навозники могут играть и отрицательную роль как промежуточные хозяева целого комплекса гельминтов домашних животных и человека.

В нашей стране биология рассматриваемого подсемейства изучена недостаточно полно, причем в настоящее время на осваиваемых территориях резко снижается их численность, жуки даже вымирают вследствие необоснованно интенсивного применения ядохимикатов и других нарушений экосистем.

В книгу вошли все известные из России и сопредельных стран виды Scarabaeinae, а также ряд видов из Турции, Ирана, Афганистана, Китая и Японии, нахождение которых возможно на нашей территории. В большинстве родовых определительных таблиц вошли почти все виды Палеарктики, за исключением эндемиков и палеотропических видов ее южных и юго-восточных окраин.

Ботаника

П.Ф.Маевский. ФЛОРА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ. 10-е изд. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 600 с.

Петр Феликсович Маевский (1851—1892) — русский ботаник (систематик и флорист) и талантливый педагог. Желая

помочь тем, кто интересуется отечественной флорой, он написал сначала три «легкие определителя» растений: «Весенняя флора», «Осенняя флора» и «Полевые травы». А потом составил определитель «Флора Средней России», вышедший в 1892 г. Это издание быстро разошлось, и в дальнейшем книга, снискавшая славу одного из лучших определителей растений, переиздавалась еще 8 раз.

Со времени выхода первого издания прошло более 70 лет. Естественно, что за такой большой промежуток времени значительно увеличилось количество изученных видов. Появились уточненные сведения о географическом распространении, использовании. Изменились и названия некоторых растений в соответствии с ныне действующими правилами ботанической номенклатуры. В первоначальный вариант текста при каждом новом издании вносились поправки.

Над редактированием «Флоры...» работали выдающиеся отечественные ботаники: С.И.Коржинский, Б.А.Федченко, Д.И.Литвинов, В.Л.Комаров, Б.К.Шишкин. В доработку последнего, 10-го издания большой вклад внес профессор В.Н.Тихомиров: им постоянно велась картотека, куда заносились данные о флористических и систематических дополнениях и изменениях растительного мира в регионе.

В год 250-летнего юбилея МГУ им. М.В.Ломоносова коллектив авторов, участвовавший в обработке огромного массива флористической информации, накопившейся после выхода в свет предыдущего издания книги (1964), посвящает десятое издание «Флоры...» Московскому университету, выпускником которого был Маевский.

Книга безусловно интересна широкому кругу специалистов-биологов и просто любителям природы и может служить не только учебным пособием,

но и справочником для изучения флоры Средней России.

История науки

Р.Д.Жантиев, С.Ю.Чайка, Г.И.Рязанова и др. КАФЕДРА ЭНТОМОЛОГИИ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 137 с.

Книга по истории кафедры энтомологии выходит в юбилейные годы 250-летия МГУ и 80-летия кафедры. Описаны основные этапы становления исследований по изучению насекомых, организации кафедры энтомологии, роль университетских ученых нескольких поколений в развитии этой области науки. В книге опубликованы список выпускников и сотрудников кафедры за 80 лет и перечень всех диссертаций, выполненных за это время на кафедре.

Перспективы развития педагогического процесса и научных исследований кафедры определяет в первую очередь сам объект изучения энтомологии — мир насекомых, уникальный по численности видов и разнообразию экологических форм. Кроме того, развитие цивилизации ставит бесконечный ряд задач, а поступательное движение самой науки создает все новые технические возможности для исследователей.

Вся работа кафедры неотделима от жизни МГУ, что позволяет связывать перспективы ее развития с грандиозными планами в жизни университета, развернутыми ректором академиком В.А.Садовничим в юбилейных докладах, посвященных Alma mater.

Книга рассчитана на энтомологов, зоологов, историков и тех читателей, которых интересует развитие науки и высшего профессионального образования в нашей стране.

История науки

В.В.Малахов. «ПОКА ГОРИТ СВЕЧА...». Очерки по истории кафедры зоологии беспозвоночных Московского государственного университета. 2-е изд., доп. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 153 с.

Книга написана в связи с 250-летием Московского университета и рассказывает об истории кафедры зоологии беспозвоночных. Это отнюдь не самая старая кафедра в университете, и, наверное, есть кафедры с более интересной и драматичной историей, но автор пишет о том, что дорого его сердцу. Ученик профессора К.В.Беклемишева, с 1968 по 1973 гг. Владимир Васильевич Малахов обучался на кафедре зоологии беспозвоночных, а с 2000 г. заведует ею. Его научные интересы — сравнительная анатомия и эмбриология беспозвоночных.

Автор в живой и увлекательной форме рассказывает об истории становления кафедры, важнейших этапах ее развития, научных достижениях, трудностях и проблемах, которых было немало на протяжении полутора веков. В жизни маленькой кафедры своеобразно отразилась сложная и противоречивая история нашей страны. Читатель узнает о деятельности выдающихся ученых и педагогов, подвижников российской науки и образования, таких как К.Ф.Рулье, А.П.Богданов, А.А.Тихомиров, Н.Ю.Зограф, Г.А.Кожевников, Л.А.Зенкевич, В.Н.Беклемишев, Г.Ф.Гаузе, Н.А.Перцов, Я.А.Бирштейн, Г.Г.Абрикосов, В.А.Броцкая, М.С.Гиляров, В.А.Свешников, К.В.Беклемишев, Г.Б.Зевина и многие другие. Книга богато иллюстрирована, в том числе редкими фотографиями. Второе издание дополнено новым фактическим материалом.

Книга предназначена для зоологов, историков науки, всех выпускников Московского университета. Издатели надеются, что она окажет помощь молодежи, выбирающей свой путь в науке.

История науки

Е.Н.МАТЮШКИН. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. Под ред. Л.В.Кулешовой, К.Г.Михайлова, В.В.Рожнова. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 660 с.

С именем Евгения Николаевича Матюшкина (1941—2003), выдающегося зоолога и биогеографа, сотрудника Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, связывается многолетнее, всегда продолжительное по времени, полевое изучение зверей зимой, цикл работ по теории зоогеографии, знание заповедного дела.

Публикации, включенные в настоящий том, составили целую монографию из трех частей. Первая часть называется «Общая и региональная зоогеография» и описывает: ареалы и пути расселения наземных позвоночных, их границы и структуру, закономерности размещения территориальных группировок птиц и млекопитающих, зоогеографию избранных регионов, географию биоразнообразия. Вторая часть — «Хищные млекопитающие» — включает систематику, экологию, географическое распространение. Третья часть идет под названием «Заповедное дело».

В книге представлены в основном статьи, написанные для журналов и тематических сборников. Несколько ключевых фрагментов выбрано из монографий; среди тезисов приведены только те, что представляют существенный теоретический интерес, но основные положения которых не имеют развернутого толкования в других из-

даниях. Хронологический порядок иногда нарушен в пользу логики приведения данных, развития идей. Впервые публикуется материал «По следам росомахи»: текстовые наброски автора, выбранные им записи из полевых дневников, фотоснимки.

Все фотографии и рисунки сделаны автором.

История науки

ИСТОРИКО-АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: Ин-т истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН. Вып. XXXII. Отв. ред. Г.М.Идлис. М.: Наука, 2007. 381 с.

Очередной 32-й выпуск сборника, подготовленного к изданию в ИИЕиТ РАН, содержит статьи по широкому кругу проблем истории отечественной и мировой астрономии.

Сборник включает следующие разделы: «Космология и космогония XX века», «История обсерваторий и астрономических организаций», «Жизнь и творчество ученых», «Астрономия и общество», «Публикации и воспоминания», «Астрономия и астрология». Среди наиболее интересных тем публикаций: история космогонической теории О.Ю.Шмидта; история изучения гравитационного поля Земли в Сейсмологическом институте в 1928—1946 гг.; жизнь и творчество знаменитого американского астронома О.Л.Струве; Пулковская обсерватория в 1892—1894 гг. в «Воспоминаниях» В.В.Стратонова; наблюдения «кометы Шезо» (1744) в Польше и Литве; письма профессора астрономии Московского университета Ф.Гольдбаха и многое другое.

Издание предназначено для научных работников, преподавателей астрономии и читателей, интересующихся историей науки.

В конце номера Небесный корабль

*Рядом с хвостом Великого Пса Арго совершает
Путь свой кормою вперед. Движенья ее [ладьи. — А.К.] необычно:
Носом назад несется она, как и вправду бывает,
Судно когда моряки, корму развернувши, к причалу
Гонят, и каждый из них корабль толкает, покуда
Берега он наконец кормовой стороной не зацепит, —
Так, кормою вперед, Арго ясонова мчится...*

Арат. Явления, 342—348. Пер. А.А.Россиуса [1]

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

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

Так в произведении греческого поэта Арата (начало III в. до н.э.) описано созвездие Корабля, на котором Ясон, ученик кентавра Хирона, получив приказ от царя Пелия, отправился в опасное путешествие в Колхиду за шкурой золотого барана — золотым руном. Пелий был уверен, что Ясон не вернется обратно, но в случае успеха обещал передать ему за вожеленный трофей свою власть...

В команде Ясона среди 50 единомышленников оказались Кастор и Полидевк, Орфей, Тесей, Асклепий... Специально для этого путешествия лучший корабельный мастер, которого звали Арго, построил корабль, названный путешественниками по имени его строителя...

В своем суточном движении Арго действительно движется «кормою вперед», и объяснение такому расположению фигуры дано в самом древнем описании этой области неба. Впрочем, можно предполагать, что корабль движется вперед, и в этом случае его движение символизировало бы прецессионное движение звездной сферы.

В каталоге Птолемея (II в. н.э.) фигура Корабля складывается из 45 звезд [2]. Это максимальное число звезд, составляющих завершённую фигуру со-

звездия, и таким образом Арго — самое крупное созвездие каталога. Заметим, что в описании присутствует только корма морского судна. Носовая часть на художественных изображениях традиционно скрывается скалами или облаками, к которым с другой стороны примыкают созвездия Водяного Змея и Кентавра. Такой древний канон был нарушен во второй половине XVII в., когда фигуры Корабля и Кентавра стал разделять Дуб Карла II.

В полном согласии с Птолемеем созвездие Арго изображено на первопечатной небесной карте, созданной в начале XVI в. И.Стабием, К.Хейнфогелем и А.Дюрером. А, пожалуй, самое романтическое изображение Корабля можно видеть на одной из медных гравюр «Уранометрии» И.Байера (1603) [3].

Как единое созвездие Корабль украшал звездные карты до середины XVIII в. В 1763 г. в Париже вышел труд Никола Луи де Лакайля (1713—1762) «Южное звездное небо», где были представлены результаты наблюдений звезд, выполненных им с 1750 по 1754 г. на мысе Доброй Надежды в Южной Африке и островах Маврикий, Реюньон, Вознесения. Именно в этом труде Лакайлем была заложена современная традиция делить очень большой древний Корабль Арго на отдельные созвез-



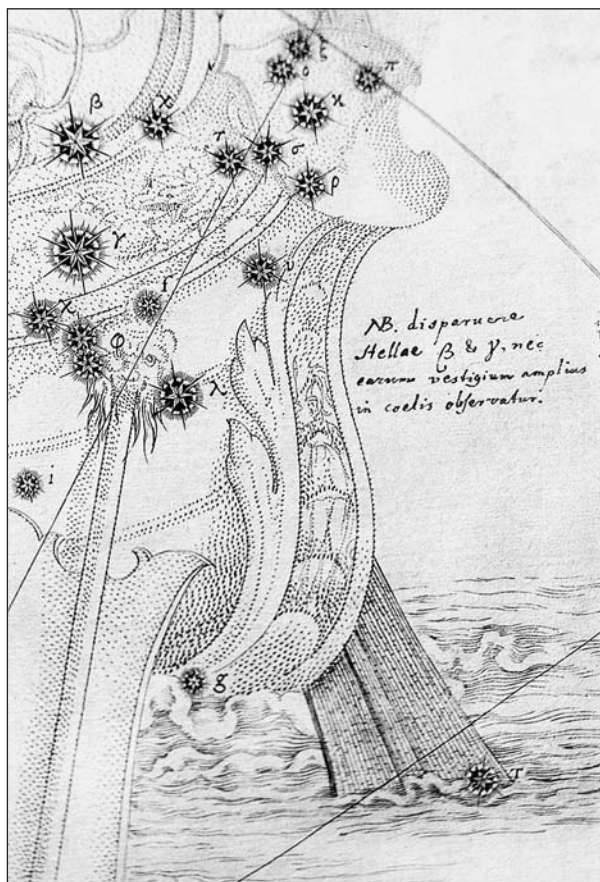
Птолемей. «Кометография»
Я.Гевелия. XVII в.

дия. Небесная площадь древнего Корабля была разделена им на созвездия Киля, Кормы, Парусов и Арго. Впоследствии Арго стал частью Парусов, и сегодня бывший корабль разделен на три (а не четыре, как было у самого Лакайля) фрагмента.

В литературе часто можно видеть упрощенное, не совсем верное предположение, что четвертое созвездие, составлявшее до Лакайля единый Корабль, это Компас. Компас — созвездие, выделенное Лакайлем рядом с созвездием Корабля, которое впоследствии часто счи-



Корабль Арго. «Уранометрия» И.Байера. 1603 г.



Фрагмент карты неба с Арго. «Гармония макрокосма» А.Целлариуса. 1661 г.

тали бывшей частью Корабля. К тому же в конце XIX в. некоторые авторы созвездие *Компас* (*Pyxis*) называли *Мачта* (*Malus*). Часть созвездия Насоса карты XIX в. иногда также относили Кораблю.

Произошло это из-за того, что такую форму Кораблю придавали самые популярные авторы небесных карт XIX в. Бенджамин Антроп Гулд (1824—1896), кстати, впервые использовавший разграничения созвездий, принятые в настоящее время. В его атласе «Аргентинская Уранометрия» Корабль условно объединяет четыре созвездия: Киль, Корму, Паруса

и Компас. Напомним, что последний Лакайль выделил рядом с древним Кораблем Арго. Именно это обстоятельство породило легенду о том, что в XVIII в. Корабль был разделен на четыре созвездия: Корму, Киль, Паруса и Компас. Да! Лакайль действительно делил Корабль на четыре части, но четвертая из этих частей не Компас, а Арго (кораблестроитель, бортиженер, как сказали бы в наши дни). Причем Арго, выделенный Лакайлем, впоследствии стал частью Парусов. Таким образом, область созвездия Компаса никогда ранее не относилась к Кораблю, но мифология

XX в. объединяет в Корабль Корму, Киль, Паруса и... Компас.

В разные времена символ корабля мог быть наполнен различными смыслами: от эсхатологического ветхозаветного Ноева Ковчега до Корабля Дураков И.Босха, воплощающего все абсурды современного мира. А вот практичные голландцы в свое время просто изображали новейшие боевые галионы.

Стоило ли делить созвездие, древний символ, на части? И не стал ли он от этого летучим голландцем, творящим для нас новые мифические, несуществующие на самом деле страхи и сиюминутный страх перед будущим? ■

Литература

1. *Арат*. Явления // Небо, наука, поэзия / Пер. А.А.Россиуса. М., 1992. С.24—61.
2. *Птолемей К.* Альмагест / Пер. И.Н.Веселовского. М., 1998.
3. *Кузьмин А.В.* Небо Иоганна Байера // Природа. 2003. №3. С.92—96.

Правила для авторов

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

ся и проходят редакционную подготовку.

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

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

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

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

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

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

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 04.07.2007
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 392
Набрано и сверстано в редакции

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