

ПРИРОДА

12 08



В НОМЕРЕ:**3 Еремин В.В.****С чего начинается фотосинтез?**

Исследователи все еще изучают строение природных фотосинтетических устройств и механизм их действия, но теперь на молекулярном уровне. Поняв это, можно использовать некоторые «природные идеи» в искусственных преобразователях солнечной энергии.

Лекторий**11 Мейлихов Е.З.****Физика в Монте-Карло**

В честь города Монте-Карло, известного своим казино, назван мощный метод моделирования разнообразных процессов. Кем он был придуман и как применяется в наши дни?

Вести из экспедиций**20 Смирнова О.В., Шашков М.П., Коротков В.Н., Широков А.И.****Лесные «острова» Южного Ямала**

Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю., Джурицкий В.Л.

Мы снова в Антарктике (25)**30 Агларов М.А.****Террасное земледелие в Нагорном Дагестане****36 Никонов А.А.****Между Сциллой и Харибдой
К 100-летию Мессинской катастрофы**

В течение последующих 3 тыс. лет Сицилия и Южная Калабрия могут подвергнуться не одному напору земной и водной стихий. Но хорошо бы знать поконкретнее — где и когда?

Заметки и наблюдения**51 Комаров В.Н.****«Пещерный город» Бакла****Резонанс****57 Москалев Л.И.****Сгущения жизни в глубинах океана****60****Калейдоскоп**

Программа «Арго» выполнена (60). «Воздушные ямы» можно обойти (60). Катастрофически сокращается мировое биоразнообразие (60). Югу Европы грозят циклоны (60). Ледовый купол Монблана подрос (60).

Биография современника**61 «ОТКРЫТИЯ, КОТОРЫЕ
ДОСТАВЛЯЮТ УДОВОЛЬСТВИЕ»**

Научный путь генетика Е.В.Ананьева

Данилевская О.Н.

**От мобильных элементов
к искусственной хромосоме (62)****72****Новости науки**

Второй пролет «Мессенджера» вблизи Меркурия. **Сурдин В.Г.** (72). Три возраста звездного скопления NGC 6791. **Вибе Д.З.** (73). Следы воды на Луне (73). Безмелкие ВТСП (74). Квантовый спиновый эффект Холла (74). Сверхпроводящая щель и аномалии Кона в монокристаллах Рb и Nb (74). Атомный карандаш. Он же ластик (75). Измеряем намагниченность отдельных атомов (75). Ферротороидные домены: новый вид памяти? (75). Магниты для молекулярной спинтроники (76). Углеродные нанотрубки сворачиваются змейкой (76). У слепых рыб потомство бывает зрячим (77). Примитивное вторичноротое. **Чернышев А.В.** (77). Новая форма серого журавля в Армении (78). Очаги образования нефти и газа в Черном море (78). Полвека Международному геофизическому году. **Померанец К.С.** (79). Пресную воду — на экспорт (80). Государственные границы на морском шельфе Арктики (80).

Рецензии**81 Орешкин Д.Б.****Первый гидрометеоролог в СССР**

(на кн.: Потапов В.В., Вангенгейм Э.А. Возвращение имени. Алексей Феодосьевич Вангенгейм)

84**Новые книги****В конце номера****85 Кузьмин А.В.****Пастушеские собаки Апиана:
зороастрийский след
на современной карте созвездий****88****Тематический и авторский
указатели за 2008 год**

CONTENTS:**3 Eremin V.V.****How Photosynthesis Begins?**

Scientists still investigate the structure of natural photosynthetic devices and mechanisms of their function, but now they do it on the molecular level. After understanding these features it would become possible to use some «natural designs» in artificial converters of solar power.

Lectures**11 Meilikhov E.Z.****Physics in Monte-Carlo**

After town of Monte-Carlo famous for its casino a powerful method of modeling various processes is named. Who invented it, and how it is used now?

Notes From Expeditions**20 Smirnova O.V., Shashkov M.P., Korotkov V.N., Shirokov A.I.****Forest «Islands» of Southern Yamal Peninsula**

Sidorenko B.I., Gagaev S.Yu., Dzhurinsky V.L.

We Are in Antarctic Again (25)**30 Aglarov M.A.****Terraced Agriculture in Upland Dagestan****36 Nikonov A.A.****Between Scylla and Charybdis To Centenary of Messina Catastrophe**

During next 3000 years Sicily and South Calabria can suffer many onslaughts of earthly and aquatic elements. But it would be helpful to know more particularly — when and where?

Notes and Observations**51 Komarov V.N.****«Cave Town» Bakla****Resonance****57 Moskalev L.I.****Concentrations of Life in Ocean Depths****60****Kaleidoscope**

«Argo» Program Accomplished (60). Air-pockets Can Be Passed Around (60). Catastrophic Depletion of World Biodiversity (60). South of Europe Endangered by Cyclones (60). Mont Blanc Ice Dome Got Higher (60).

Biography of Our Contemporary**61 «DISCOVERIES THAT GIVE US PLEASURE» Scientific Route of Geneticist E.V.Anan'ev**

Danilevskaya O.N.

From Mobile Elements to Artificial Chromosome (62)**72****Science News**

The Second Near-Mercury Flight of «Messenger». **Surdin V.G.** (72). The Three Ages of the Stellar Cluster NGC 6791. **Wiebe D.Z.** (73). Traces of Water on the Moon (73). Copper-free High Temperature Superconductors (74). Hall's Quantum Effect (74). Superconductive Gap and Khon Anomaly in Monocrystalline Pb and Nb (74). Atomic Pencil And Eraser (75). Magnetization of Single Atoms (75). Ferrotoroid Domains: A new of Type Memory? (75). Magnets for Molecular Spintronics (76). Carbon Nanotubes Roll up in Zigzag Pattern (76). Blind Fishes Have Sighted Offsprings (77). A Primitive Deuterostomata. **Chernyshev A.V.** (77). A New Form of Grey Crane in Armenia (78). Hotbeds of Oil and Gas Formation in Black Sea (78). 50th Anniversary of International Geophysical Year. **Pomeranetz K.S.** (79). Fresh Water for Export (80). Frontiers at Arctic Continental Shelf (80).

Book Reviews**81 Oreshkin D.B.**

The First Hydrometeorologist in USSR (on a book: Potapov V.V., Vangenheim E.A. Restitution of a Name. Alexey Feodosievich Vangenheim)

84**New Books****End of Issue****85 Kuzmin A.V.**

Pastoral Dogs of Apian: Zoroastrian Imprint on Contemporary Constellation Map

88

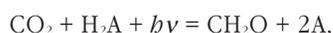
Subject and Author Indexes for year 2008

С чего начинается фотосинтез?

В.В.Еремин

Каждую секунду квадратный метр поверхности Земли поглощает около 1000 Дж солнечной энергии. В пересчете на всю земную сушу это на несколько порядков больше, чем производит и потребляет все человечество. Если бы оно научилось эффективно использовать энергию Солнца, это позволило бы отказаться от невозобновляемых источников энергии и избавиться от «углеводородной» зависимости.

В природе существует очень эффективный механизм преобразования энергии света в химическую энергию. Это фотосинтез. Его суммарное уравнение выглядит довольно просто:



где H_2A – восстановитель, который окисляется до A . В высших растениях, водорослях и цианобактериях восстановителем служит вода, а продуктом фотосинтеза — кислород. Такой фотосинтез называют оксигенным.

Общее уравнение фотосинтеза не отражает всего многообразия реакций, лежащих в его основе. Механизм фотосинтеза очень сложен и включает множество стадий, отличающихся по энергии и времени протекания. Первичные (световые) стадии осуществляются в двух связанных пигментных системах: реакционном центре и окружающих его светособирающих антеннах. Эти фотоантенны поглощают свет и переносят элек-



Вадим Владимирович Еремин, доктор физико-математических наук, профессор химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Лауреат премии Президента РФ в области образования. Научные интересы связаны с фемтохимией, квантовой динамикой молекул, теорией внутримолекулярных процессов.

тронное возбуждение к реакционному центру, где разделяются заряды и возникает мембранный потенциал. Конверсия световой энергии в электрическую происходит очень быстро (~ 100 пс = 10^{-10} с) и с высокой эффективностью. В дальнейшем, на темновых стадиях, электрический потенциал используется в химических реакциях, протекающих с положительной энергией Гиббса, в частности для синтеза АТФ, универсального источника энергии в клетке [1].

Основные этапы фотосинтеза известны уже десятки лет, но детальное его изучение продолжается. Выясняются процессы преобразования поглощенной пигментами световой энергии в реакционных центрах; механизмы эффективной миграции энергии в антенне и разделения зарядов, организации пигментов в антенне, а также пигментов и кофакторов в реакционных центрах и в цепи переноса электрона в мембране

[2]. Поняв механизм фотосинтеза и строение фотосинтетических устройств, можно использовать некоторые «природные идеи» в искусственных преобразователях солнечной энергии. Какие «идеи природы» стали известны к настоящему времени?

Фотосинтетическое устройство

Наиболее подробно изучен механизм фотосинтеза в пурпурных бактериях. Их фотосинтетические устройства представляют собой наночастицы, содержащие несколько сотен пигментов — бактериохлорофиллов и каротиноидов, погруженных в белковую матрицу. Большая часть пигментов входит в состав фотоантенн, и лишь несколько бактериохлорофиллов находятся в реакционном центре.

Бактериохлорофиллы относятся к классу порфиринов. Эти

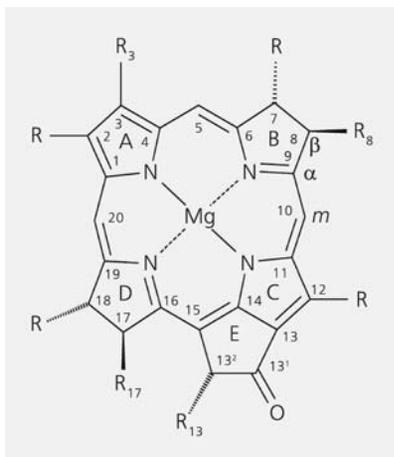


Рис.1. Бактериохлорин — пигмент, встречающийся в зеленых серобактериях.

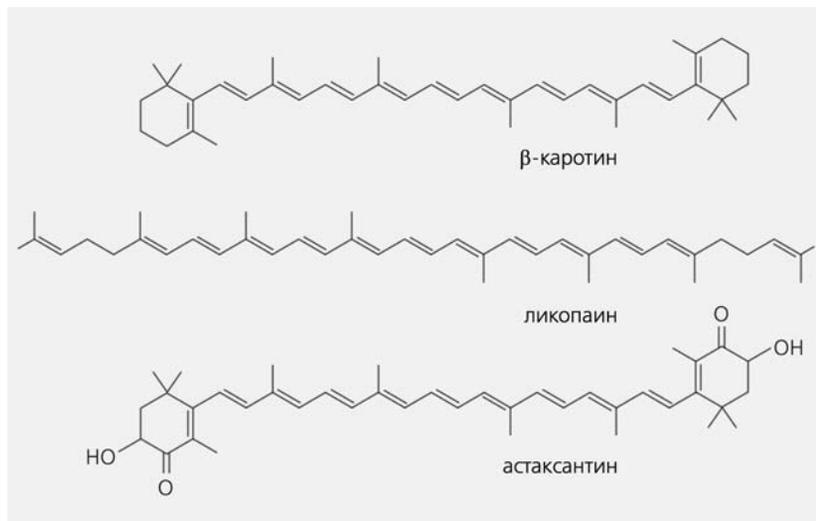


Рис.2. Структуры некоторых каротиноидов.

соединения представляют собой ароматическую 18-электронную систему из четырех пиррольных колец, окружающую центральный атом металла. Различные виды порфиринов отличаются боковыми группами и центральным атомом. В порфиринах природных фотосинтетических устройств его роль выполняет магний (рис.1).

Молекула бактериохлорофилла, поглотив свет в области 750–850 нм (близкая инфракрасная область), переходит

в возбужденное электронное состояние и, став нестабильной, стремится релаксировать к исходному состоянию. В изолированной молекуле релаксация происходит за счет внутренней конверсии: электронная энергия переходит в энергию колебаний ядер и в конце концов рассеивается в окружающую среду. Если же молекулы бактериохлорофилла упакованы плотно, как в фотосинтетической ячейке, энергия от возбужденной молекулы с высоким выходом передается

соседним молекулам, от них — к следующим и так далее, до тех пор, пока не доберется до реакционного центра. Именно он служит «энергетической ловушкой» и превращает электронную энергию в электрическую.

Другой вид пигментов — каротиноиды — это ненасыщенные органические соединения, содержащие сопряженную полиеновую цепь (рис.2).

Каротиноиды выполняют многочисленные функции. Эти пигменты поглощают свет на частотах, недоступных порфиринам, и передают им энергию возбуждения. Тем самым они участвуют в процессе аккумуляции солнечной энергии [3] и увеличивают спектральный диапазон фотосинтетического устройства. Кроме того, каротиноиды играют защитную роль: гасят возбуждение в фотосистемах, не допуская «перегрева» фотоантенны, и связывают радикалы и перекиси, токсичные для клетки. Наконец, немаловажна их структурная роль: каротиноиды стабилизируют пигментно-белковый комплекс.

Архитектура фотосинтетических устройств пурпурных бактерий (т.е. пространственное расположение пигментов) была определена методами рентгено-

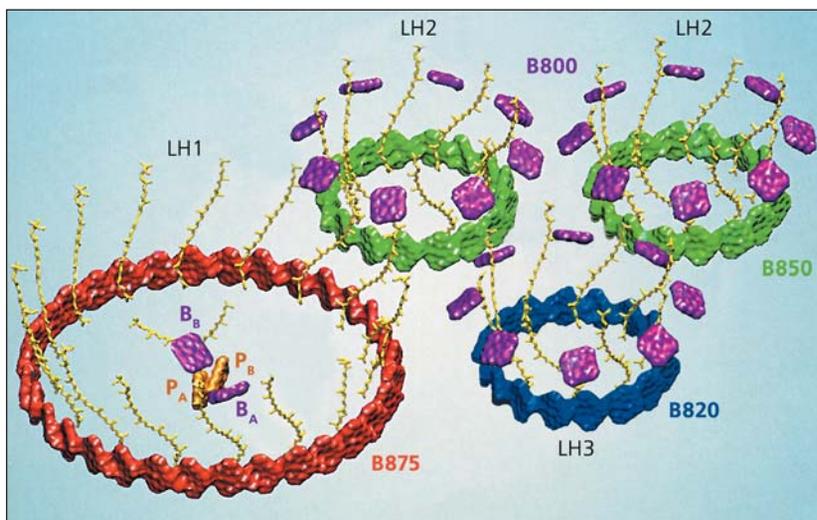


Рис.3. Расположение пигментов в фотосинтетическом устройстве пурпурных бактерий. В и Р — пигменты реакционного центра, желтые цепочки — каротиноиды.

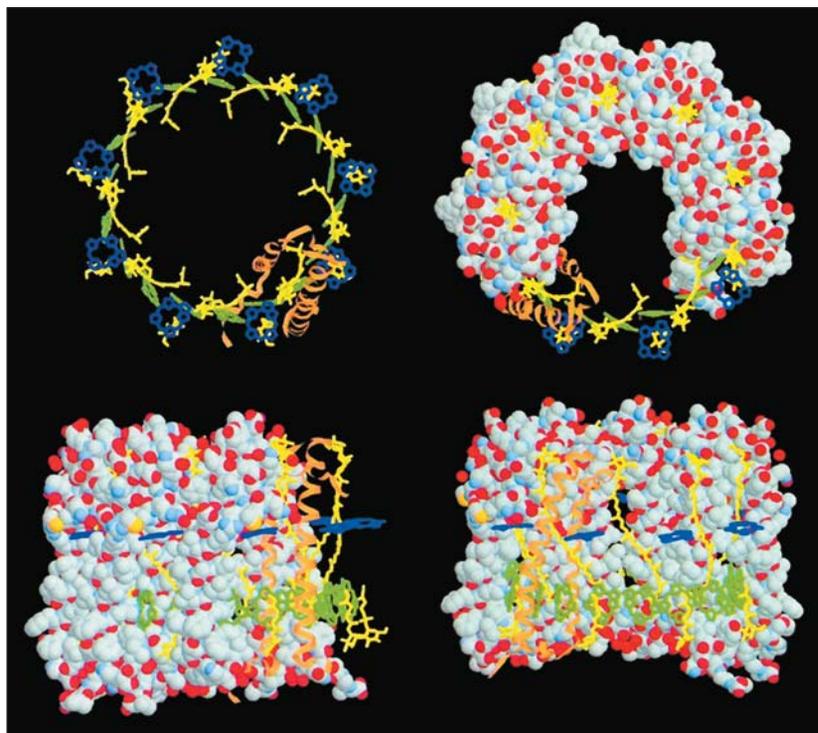


Рис.4. Структура фотоантенны LH2 бактерии *Rhodospseudomonas acidophila*. Вверху (вид параллельно мембране) изображены (слева) только хлорофиллы и каротиноиды, рядом — пигменты в белковом окружении; внизу (вид перпендикулярно мембране) — весь белково-пигментный комплекс с хорошо видимым взаимным расположением элементов структуры.

структурного анализа, электронной микроскопии и молекулярного моделирования более 10 лет назад [4]. Теперь известно, что светособирающий комплекс может содержать до трех разных видов фотоантенн (рис.3), все они — циклической структуры. Фотоантенна I (LH1) окружает реакционный центр и включает 32 бактериохлорофилла B875 (число обозначает длину волны в максимуме поглощения). Вокруг этой фотоантенны (LH1) расположены другие, LH2. Они содержат 16—18 прочно связанных между собой бактериохлорофиллов B850 и восемь-девять слабо связанных бактериохлорофиллов B800. У некоторых бактерий при недостатке света или при низкой температуре вырабатывается третий тип антенны, LH3, который отличается от LH2 длиной волны поглощения бактериохлорофилла: B820. Во всех антеннах бактериохлоро-

филлы связаны с каротиноидами и находятся в белковом окружении (рис.4). Поглощение света любым из пигментов в любой антенне приводит к тому, что энергия возбуждения с выходом почти 100% достигает реакционного центра [5], хотя и за разное время.

Механизмы и время переноса энергии

Узнав об устройстве фотосинтетической системы, попробуем разобраться в том, как переносится энергия возбуждения от одного пигмента к другому. Во всех антеннах пигменты — бактериохлорофиллы и каротиноиды — связаны друг с другом нековалентно, ван-дер-ваальсовыми силами. В таких системах возможны два основных механизма переноса — некогерентный и когерентный.

Некогерентный механизм носит имя Ферстера, который первым вывел теоретическое выражение для константы скорости переноса энергии от донора к акцептору [6]. Еще этот механизм называют индуктивно-резонансным, или диполь-дипольным, так как перенос энергии вызван диполь-дипольным взаимодействием. Его можно представить следующим образом. Молекула-донор энергии находится в электронновозбужденном состоянии и, в принципе, может перейти в основное состояние, испустив квант света. Этот квант может быть поглощен акцептором, который из основного перейдет в возбужденное состояние, и тем самым перенос энергии от донора к акцептору закончится. Квант света в таком представлении выступает посредником. На самом же деле испускание и поглощение происходят одновременно, поэтому в явном виде излучение здесь не фигурирует, это — виртуальный процесс.

Некогерентный механизм действует на довольно больших расстояниях между донором и акцептором, от 1 до 10 нм, и при достаточно слабом взаимодействии между ними, порядка 10 см^{-1} , т.е. чуть больше 0.1 кДж/моль . Некогерентность означает, что в процессе переноса участвуют только два пигмента, и между разными актами переноса нет никакой корреляции. Это позволяет использовать для расчетов кинетический подход: каждый акт переноса рассматривается как реакция первого порядка, константа скорости которой определяется энергией взаимодействия V и интегралом перекрытия между спектром излучения донора $\epsilon_D(E)$ и спектром поглощения акцептора $\epsilon_A(E)$:

$$K \sim V^2 \int \frac{\epsilon_D(E)\epsilon_A(E)}{E^4} dE.$$

Решив систему кинетических уравнений, можно проследить за тем, как электронное возбуждение мигрирует по фотоантен-

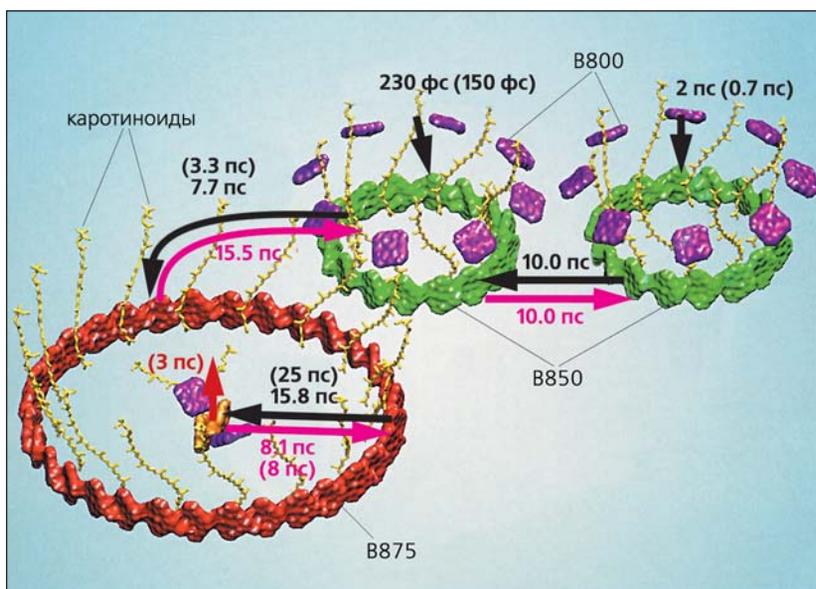


Рис.5. Времена переноса возбуждения в фотосинтетическом устройстве пурпурных бактерий. В скобках приведены экспериментальные значения.

нам и в конце концов достигает реакционного центра [7].

Напротив, в когерентном переносе энергии одновременно участвуют несколько молекул, между которыми распределено возбуждение. Такой механизм называют экситонным [8]. Он действует при сильном взаимодействии между пигментами ($V \sim 100 \text{ см}^{-1}$, или более 1 кДж/моль) и приводит к быстрому переносу энергии, за время порядка 100 фс ($= 10^{-13} \text{ с}$), что значительно меньше времени установления колебательного равновесия. В этом случае для расчета динамики переноса приходится использовать методы нестационарной квантовой теории [9–11], основанные на построении

эффективного гамильтониана системы пигментов.

Расчеты времен переноса энергии между разными компонентами типичного фотосинтетического устройства проведены не так давно. Из результатов (рис.5 [7], таблица) видно, что быстрее всего происходит перенос энергии от каротиноидов к хлорофиллам и между хлорофиллами B850 и B875 кольцевых фотоантенн LH2 и LH1. Самая медленная (лимитирующая) стадия первичного переноса энергии — последняя: от кольцевой антенны LH1 к реакционному центру (RC), в котором под действием этой энергии инициируются окислительно-восстановительные реакции [12].

Почему и зачем так долго протекает перенос LH1–RC? В первую очередь потому, что энергия связи LH1–RC мала из-за большого размера реакционного центра, который необходим для осуществления его функций. Большое расстояние между реакционным центром и антенной LH1 требуется также для того, чтобы в нем окисленный донор не окислял хлорофиллы LH1, что привело бы к тушению переноса энергии в антенне. Кроме того, при быстром поступлении энергии реакционный центр не успеет ее «переварить»: после разделения зарядов ему требуется некоторое время, чтобы вернуться в рабочее состояние и быть готовым получить новую порцию энергии.

С другой стороны, при очень большом расстоянии между антенной LH1 и реакционным центром вероятность переноса энергии будет мала и фотосинтетическое устройство станет неэффективным, так как реакционный центр не получит достаточного количества энергии.

Следовательно, расстояние LH1–RC должно быть оптимальным: достаточно большим, чтобы избежать побочного окисления, но не слишком большим, чтобы энергия эффективно достигала реакционного центра. Наибольшая эффективность переноса энергии от LH1 к RC достигается именно при кольцевой организации антенны и экситонном механизме переноса между хлорофиллами внутри нее. Это означает, что энергия должна быстро перемещаться по антенне и достаточно медленно (на два порядка дольше) перетекать из нее в реакционный центр.

Таблица

Характеристики разных стадий переноса энергии

Переход	Механизм	Энергия взаимодействия, см^{-1}	Время переноса, фс
каротиноид \rightarrow B850	экситонный	300	200
B800 \rightarrow B800 в LH2	Ферстера	25	500–1000
B800 \rightarrow B850 в LH2	Ферстера	30	2000
B850 \rightarrow B850 в LH2, B875 \rightarrow B875 в LH1	экситонный	500	100
LH2 \rightarrow LH1	Ферстера	?	8000
LH1 \rightarrow RC	Ферстера	?	16000

Влияние архитектуры

В пурпурных бактериях светособирающие антенны имеют вид кольца, однако возможны и другие варианты расположения хромофоров. Кроме того, существуют разные способы

размещения антенн вокруг реакционных центров. Архитектура фотосинтетических устройств, т.е. взаимное расположение элементов в них, коренным образом влияет на скорость и эффективность переноса энергии. Рассмотрим это влияние с помощью очень простой модели.

Представим, что устройство состоит из приемника энергии (реакционного центра) и светочувствительных элементов (СЧЭ), между которыми возможен перенос энергии. Поглощение фотона возбуждает лишь один СЧЭ, поэтому в начальный момент времени вся энергия возбуждения содержится лишь в нем. Для учета диссипации энергии будем считать, что каждый акт ее переноса между любыми соседними СЧЭ происходит мгновенно и с эффективностью p , а доля энергии, равная $(1 - p)$, рассеивается. Перенос энергии с данного СЧЭ на все соседние происходит с равной вероятностью и обратимо.

Перенос энергии со СЧЭ на приемник может происходить по разным путям, поэтому сред-

нюю эффективность устройства, т.е. долю энергии, дошедшей до приемника, можно оценить усреднением по всем маршрутам. Кроме того, возбуждение каждого светочувствительного элемента в антенне равновероятно, поэтому необходимо усреднение еще и по всем исходным СЧЭ. Кроме эффективности переноса энергии, важное значение для характеристики фотосистемы имеет его скорость, которую можно определить как среднюю длину маршрута.

Рассмотрим возможные типы организации фотосинтетических устройств — параллельный, последовательный и кольцевой (рис.6) [13].

При параллельной организации возбуждение любого СЧЭ приведет к одному и тому же результату: приемника достигнет доля энергии, равная p , а $(1 - p)$ рассеется. Любой маршрут в этом случае включает ровно одну стадию.

Последовательная (цепная) организация оказывается довольно неэффективной с точки зрения устойчивости к повре-

ждениям. Эффективность резко падает при повреждении всего одного контакта между двумя СЧЭ и становится нулевой при разрушении связи между первым светочувствительным элементом и приемником.

При кластерной организации возможны переносы энергии как между любыми двумя СЧЭ, так и между любым из элементов и приемником. Такая структура возможна только в искусственных фотосистемах, в природе она не реализуется из-за геометрических ограничений — размеры порфиринов для этого слишком велики. Средняя эффективность кластера равна $p/(M(1 - p) + p)$, где M — число СЧЭ. Она уменьшается с увеличением числа элементов. Зато кластер оказывается наиболее устойчивой к деструкции структурой.

В кольцевой структуре, как и в кластере, все СЧЭ равноправны (при $M = 3$ топологии кластера и кольца совпадают). Эффективность такой структуры не зависит от числа элементов в ней и равна $p/(3 - 2p)$.

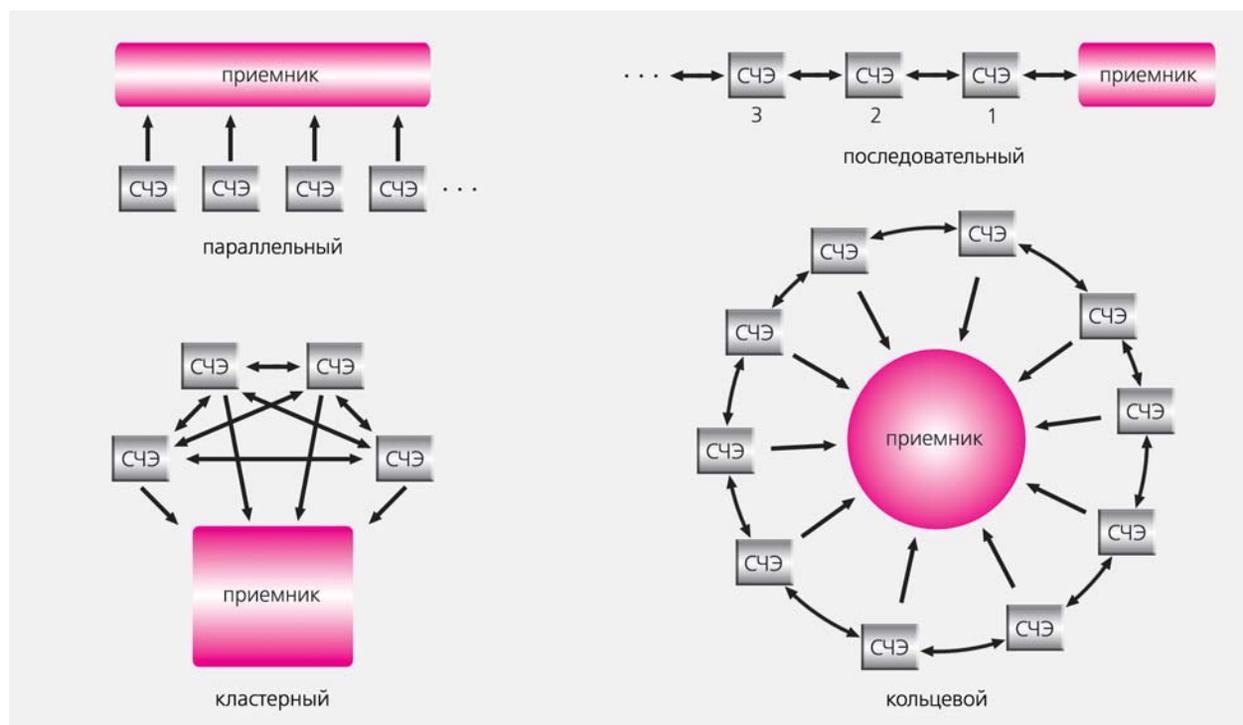


Рис.6. Типы организации фотосинтетических устройств.

Близкий аналог кольцевой организации — сферическая, в которой положение СЧЭ вокруг приемника аналогично расположению атомов углерода в молекуле фуллера и каждый элемент имеет по три соседа. В такой структуре разрушение даже трех любых контактов не исключает ни один из СЧЭ из процесса аккумуляции энергии.

Расчеты показывают, что наиболее эффективными устройствами оказываются те, в которых максимальное число светочувствительных элементов непосредственно контактируют с приемником, а взаимодействие с соседями сведено к минимуму. В порядке уменьшения эффективности рассмотренные типы устройств можно расположить в следующий ряд: параллельная, кольцевая, сферическая, кластерная, последовательная.

Таким образом, при конструировании фотосинтетических устройств предпочтение следует отдать параллельному способу организации светочувствительных элементов. Однако стоит учитывать, что все маршруты в таких структурах имеют одинаковую длину, а это сильно за-

трудняет контроль скорости подачи энергии в приемник. Кроме того, параллельное расположение большого числа СЧЭ вокруг одного приемника неизбежно приведет к их взаимодействию и изменению типа организации структуры. Однако большое количество СЧЭ необходимо для эффективного поглощения и преобразования света. Чтобы разрешить это противоречие, нужно либо уменьшить размер приемников, либо использовать сферический тип организации СЧЭ. Тогда, несколько проиграв в эффективности переноса, удастся значительно выиграть в эффективности поглощения за счет высокой элементности сферической поверхности.

Искусственные фотосинтетические устройства

Многие искусственные фотоантенны, как и их природные прототипы, построены на основе порфириновой системы в качестве пигмента. Такое предпочтение обусловлено относительной

легкостью синтеза порфиринового кольца, его устойчивостью и гибкостью свойств благодаря возможности внедрения разных ионов (с образованием порфиринов), гидрирования (с образованием хлоринов) и замещения. Наиболее популярны порфирины с ионами цинка, магния и платиновых металлов. Порфирины с металлами переменной валентности под действием света способны легко отдавать электрон и пребывать в окисленном состоянии долгое время. Кроме того, синтезированы порфирины с неметаллическими центральными атомами — фосфором [14] и кремнием [15], и их можно ковалентно связать с другими фотоактивными или иными группами.

В роли реакционных центров фотосинтеза могут выступать фуллерены [16], которые обладают низкой энергией реорганизации в реакциях переноса электронов. Фуллерены — химически активные вещества, к ним можно присоединить практически любые функциональные группы, что облегчает получение искусственных фотосинтетических устройств (рис.7). Ва-

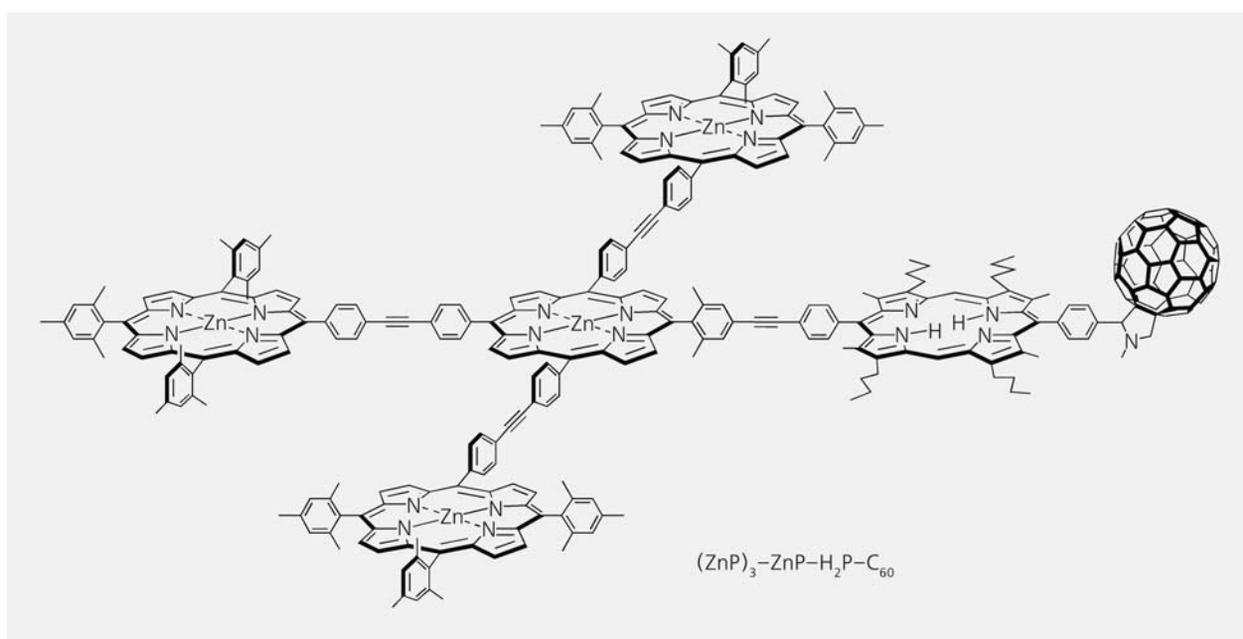


Рис.7. Пример разветвленного донорно-акцепторного комплекса, включающего четыре Zn-содержащих порфирина и фуллерен [16]. В роли связывающих групп выступают дифенилацетилены.

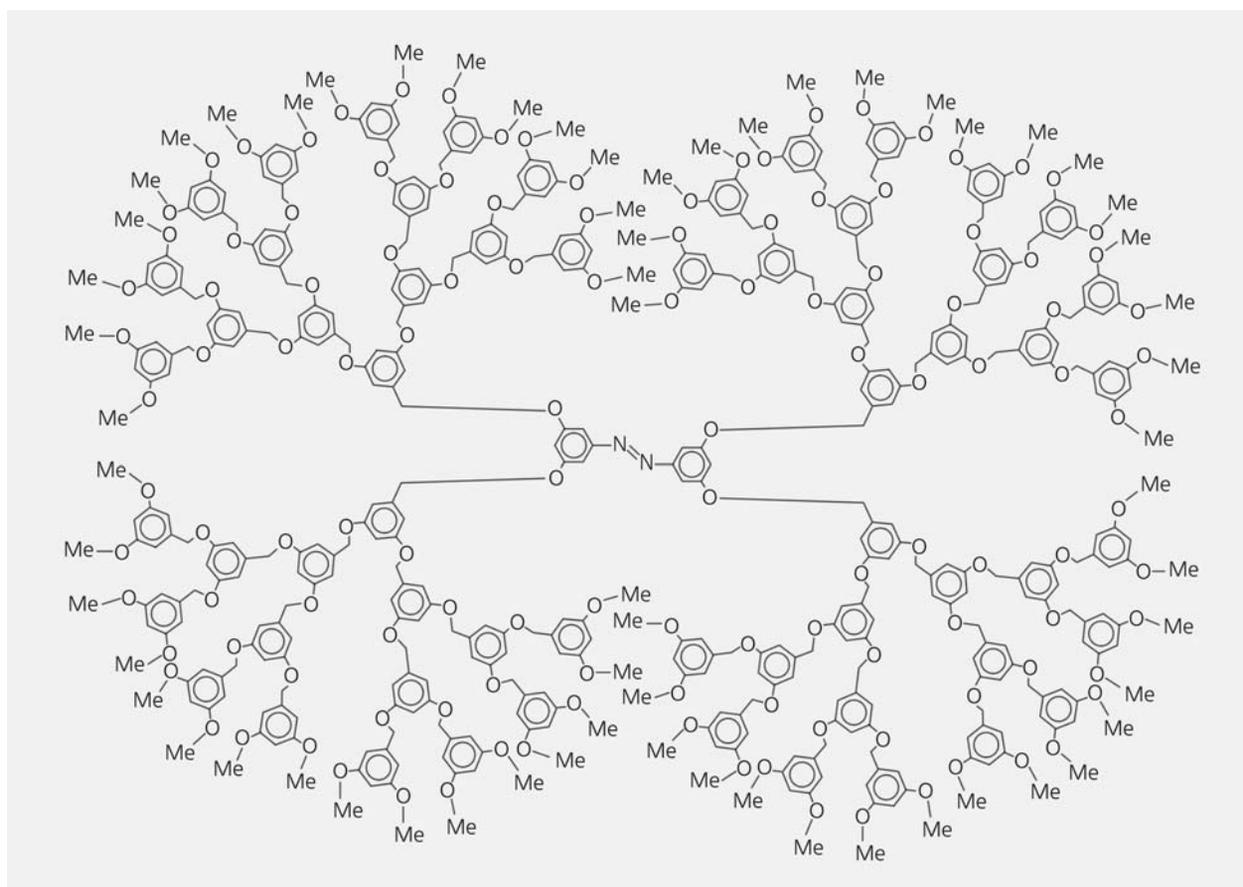


Рис.8. Структура дендримера, в котором ядром служит азобензол, а возбуждение передается по цепи полибензиловых эфиров.

рируя состав порфиринов, связанных с фуллереном, их пространственную ориентацию и расстояние до фуллерена, удастся управлять скоростью переноса электрона по цепи.

Еще одни перспективные модельные соединения для фотосинтетических устройств — дендримеры, сильно разветвленные синтетические макромолекулы [17]. Архитектура дендримеров напоминает природные фотоантенны, где большое число хромофоров окружает ядро — реакционный центр (рис.8). Если методами органического синтеза варьировать химический состав и архитектуру дендримеров, это обеспечит необходимые изменения их фотофизических свойств. Меняя уровни энергии хромофоров за счет химической модификации, можно управлять потоком энер-

гии, делая его обратимым или необратимым и даже направленным.

Сложность и дороговизна синтеза дендримеров пока делают маловероятным их практическое применение для преобразования световой энергии; их основная роль состоит в моделировании фотосинтетических процессов.

Наряду с организацией цепи переноса энергии, есть еще важная проблема. Она заключается в использовании разделенных зарядов или энергии возбуждения. Здесь существует несколько подходов. Один из них — перенос заряда на проводящий полимер либо неорганический кристалл, благодаря чему увеличиваются концентрация носителей заряда и проводимость или меняется окислительно-восстановительный потенциал.

Другой способ — преобразование потенциальной энергии, изменяющей геометрию молекулы при возбуждении, в кинетическую, т.е. прямое превращение световой энергии в механическую. Это находит применение при создании молекулярных моторов.

Наиболее трудная, но и самая интересная задача — превращение световой энергии в химическую подобно тому, как это происходит в природе. Пока таких искусственных фотосистем известно очень немного. Один из примеров — дендример с азобензольным ядром и разветвленными цепями полибензиловых эфиров (см. рис.8). В этой системе инфракрасное облучение ароматических колец резко увеличивает скорость *цис-транс*-изомеризации центрального ядра. Синтез дендримеров, в кото-

рых поглощенная световая энергия катализирует сложные химические превращения, вплоть до синтеза биологически активных молекул, остается самой насущной задачей.

* * *

Итак, фотосинтез начинается с электронного возбуждения хромофоров и переноса электронной энергии в реакционный центр по цепи взаимодействующих молекул. Механизм переноса энергии включает много стадий, сильно отличающихся по времени и энергии, причем каждой стадии отведена своя роль: быстрые стадии нужны для того, чтобы создавать «резервуар энергии» в фотоантеннах, а медленные стадии —

для ее постепенной доставки в реакционный центр.

Скорость и эффективность переноса определяются целым набором структурных, энергетических и динамических факторов. Это пространственное расположение и взаимная ориентация хромофоров, энергия и когерентность взаимодействия молекул, время диссипации энергии в белковое окружение и др. В природных устройствах все эти факторы за миллионы лет эволюции приведены в соответствие друг с другом и максимально оптимизированы. И такие природные устройства оказались довольно сложными, каждая светособирающая антенна состоит из нескольких тысяч атомов — ведь у простых молекул тонкая подстройка свойств была бы невозможна.

Работа над искусственными фотосинтетическими устройствами только началась. По сложности, эффективности и скорости они пока значительно уступают природным образцам. Сегодня основное русло исследований направлено на более точное копирование свойств природных фотосинтетических систем. На этом пути исследователям предстоит узнать много нового о принципах, заложенных природой. Но интереснее всего будет увидеть новые подходы к преобразованию энергии, которые люди смогут предложить, ориентируясь не на цели природы, а на потребности человечества. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-03-32921.

Литература

1. Рубин А.Б. Биофизика. М., 1999. Т.1. Гл.13; Т.2. Гл.27.
2. Каранетян Н.В. // Вестник РФФИ. 2003. №3. С.5—22.
3. Polivka T., Sundström V. // Chem Rev. 2004. V.104. P.2021—2071.
4. McDermott G., Prince S. M., Freer A.A. et al. // Nature 1995. V.374. P.517—521.
5. Pullerits T., Sundström V. // Acc. Chem. Res. 1996. V.29. P.381—389.
6. Förster T. // Ann. Phys. 1948. V.2. P.55—75.
7. Ritz T., Park S., Schulten K. // J. Phys. Chem. B. 2001. V.105. P.8259—8267.
8. Давыдов А.С. // Усп. физ. наук. 1964. Т.82. С.393—448.
9. Sundström V., Pullerits T., van Grondelle R. // J. Phys. Chem. B. 1999. V.103. P.2327—2346.
10. Harigaya K. // Phys. Chem. Chem. Phys. 1999. V.1. P.1687—1689.
11. Sener M.K., Lu D., Ritz T. et al. // J. Phys. Chem. B. 2002. V.106. P.7948—7960.
12. Еремин В.В. Квантовая динамика окислительно-восстановительных реакций // Природа. 2006. №5. С.15—22.
13. Белов А.С., Еремин В.В. // Вестник Моск. ун-та. Сер. химия. 2008. Т.63. С. 219—225.
14. Borgström M. et al. // J. Phys. Chem. B. 2005. V.109. P.22928—22934.
15. Kodis G., Herrero C., Palacios R. et al. // J. Phys. Chem. B. 2004. V.108. P.414—425.
16. Guldi D.M. // Chem. Soc. Rev. 2002. V.31. P.22—36.
17. Adronov A., Fréchet J.M.J. // Chem. Comm. 2000. P.1701—1710.

Физика в Монте-Карло

О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...

А.С.Пушкин

Е.З.Мейлихов

Вопреки названию этих заметок, никакой физики в Монте-Карло нет. Зато Монте-Карло есть в самой физике. Это мощный метод моделирования разнообразных физических процессов, который получил свое название в честь города Монте-Карло в княжестве Монако, знаменитого своим игорным домом — казино. Основным атрибутом казино — рулетка — является одним из простейших механических приборов для получения случайных чисел. А метод, о котором пойдет речь, — это численный метод решения различных задач путем моделирования случайных величин.

Само княжество Монако имеет площадь всего 185 га и спокойно могло бы разместиться на территории ВДНХ. В этом государстве постоянно проживает чуть более 32 тыс. человек, но только каждый пятый из них является монегаском — подданным княжества. Остальные в основном граждане Франции (40%) и Италии (20%).

Существует шесть способов получения подданства Монако:

1. Иметь хотя бы одного монакского родителя.

2. Родиться в Монако от неизвестных (монакским властям) родителей.

3. Выйти замуж за монегаска. (Взять в жены подданную Монако иностранец может исключительно во имя любви: по закону иностранный супруг подданной Монако не может претендовать на получение подданства.)



Евгений Залманович Мейлихов, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института молекулярной физики Российского научного центра «Курчатовский институт». Область научных интересов — физика твердого тела.

4. Добиться усыновления монакскими подданными и прожить в княжестве 10 лет.

5. Прожить в Монако 10 лет после достижения 21 года и отказаться от своего прежнего гражданства.

6. Очень понравиться принцу, поскольку тот может даровать подданство по своему желанию.

Но гражданам княжества Монако заходить в знаменитое казино Монте-Карло не рекомендуется... Как свидетельствует история, случайные числа мало кому принесли счастье. А вот в физике они очень пригодились и продолжают служить науке по сей день.

Пасьянс Улама

Заслуга изобретения метода Монте-Карло принадлежит польскому математику Станиславу Уламу, эмигрировавшему перед второй мировой войной в США и работавшему там в рамках известного Манхэттенского проекта. Вот как он сам пишет об этом [1]: «Идея, названная впоследствии методом Монте-Карло, возникла у меня в 1946 г., когда во время болезни я играл в пасьянс. Чтобы вычислить вероятность успешного исхода в пасьянсе (или какой-нибудь другой игре, в которой мастерство игрока не играет роли), нужно просчитать все варианты, число которых настолько велико, что оценить их все просто не представляется возможным. Однако, как я заметил, получить представление об этой вероятности можно гораздо проще — раскладывая карты и отмечая долю успешных результатов.

Последнее вызывает неприятное удивление, в каком-то смысле даже унижает умственные способности человека. В достаточно сложных задачах фактическая выборка оказывается эффективнее, чем умозрительное рассмотрение всех возможностей. Рассмотрев всего лишь нескольких тысяч возможных исходов, можно получить

приближенное решение задачи. Все, что для этого необходимо, — располагать средствами для проведения испытаний.

Вычислительные машины только начали входить в нашу жизнь. Поэтому в шутку я предложил нанять для проведения расчетов несколько сотен китайцев из Тайваня, посадить их на корабль и дать задание бросать кости, заставив тем самым получать случайные числа.

Улам вовсе не изобрел метод статистических испытаний. Он и раньше применялся для решения различных задач с использованием таких «физических» генераторов случайных чисел, как бросание костей или вытягивание карты из колоды. Использовались и другие способы. Так, У.С.Госсетт, публиковавшийся под псевдонимом «Студент» (Student), в 1908 г. использовал параметры большого и среднего пальцев 3000 преступников для генерации двух коррелированных нормальных распределений.

Достижение Улама состояло в том, что он осознал возможность использования только что появившихся компьютеров для автоматизации таких испытаний. Это превращало математический курьез в формальный метод, пригодный для решения широкого круга задач. Само же название метода, напоминающее о простейшем способе генерации случайных чисел — рулетке, придумал коллега Улама Николас Метрополис. В 1949 г. он вместе с Уламом опубликовал статью, которая так и называлась — «Метод Монте-Карло» [2].

В сентябре 1985 г. в Лос-Аламосе проходила конференция, приуроченная к 70-летию Н.Метрополиса. Одним из докладчиков был его давний друг и коллега профессор Херб Андерсон, который закончил свою речь «юбилейной поэмой»* [3]:

*Я помню чудесное времечко, Ник,
Когда Монте-Карло лишь только возник,
И мы по утрам к ENIAC'у бежали,
Программные коды в него загружали.*

*Но вот Монте-Карло не «пашет» никак,
И это заставило строить MANIAC.
Он всем нам казался чудесной игрушкой,
И это отмечено было пирушкой.*

*Собрались, я помню, все наши друзья,
Их всех перечислить, конечно, нельзя.
Там были Туркевич и Теллер, и Гамов,
И много других всем известных титанов.*

*Тогда нас связала единая цель —
В MANIAC'ову душу построить тоннель.
Зеленый росток на поверхность пробился —
Вот так Монте-Карло на свет появился.*

* Перевод автора. ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) и MANIAC (Mathematical Analyzer, Numerical Integrator, And Computer) — «имена» первых компьютеров в Лос-Аламосе.

Задача Бюффона

Идею метода Монте-Карло обычно иллюстрируют задачей Бюффона об игле. Задолго до формулировки самого метода (еще в 1777 г.) граф Жорж Луи Леклерк де Бюффон исследовал следующую проблему (см. рис.1). Игла длиной l случайно падает на плоскость, которая разграфлена параллельными линиями, расположенными на расстоянии $d > l$ друг от друга. Какова вероятность, что игла пересечет одну из них?

Положение «нижнего» конца иглы определяется двумя случайными, независимыми друг от друга величинами — его расстоянием A до ближайшей «верхней» прямой и углом θ наклона иглы. Расстояние A с равной вероятностью принимает любое значение от 0 до d , а угол θ с равной вероятностью заключен в пределах от 0 до π . Соответственно, вероятность того, что величина A заключена в пределах от A до $A + dA$, а величина θ заключена при этом в пределах от θ до $\theta + d\theta$, равна $(dA/d) \cdot (d\theta/\pi) = dA \cdot d\theta / \pi d$. Игла пересечет «верхнюю» прямую, если $A < l \sin \theta$. Поэтому вероятность такого пересечения равна**

$$w = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{A=0}^{l \sin \theta} \frac{dA \cdot d\theta}{\pi d} = \frac{2l}{\pi d}. \quad (1)$$

Лаплас заметил, что этот «ответ» приводит к забавному (хотя и трудоемкому) методу определения числа π . Представим, что мы провели опыт Бюффона n раз и при этом число «удачных» случаев (когда игла пересекла линию) оказалось равным m . Тогда $w \approx m/n$, и значит,

$$\pi \approx \frac{n}{m} \left(\frac{2l}{d} \right). \quad (2)$$

Таким образом, многократно проведенный опыт может дать приближенное значение числа π . Для получения хорошей точности опыт следует проводить очень много раз, что, помимо усердия, требует еще и свободного времени.

** Напомним, что интегральное исчисление было разработано еще в XVII в.

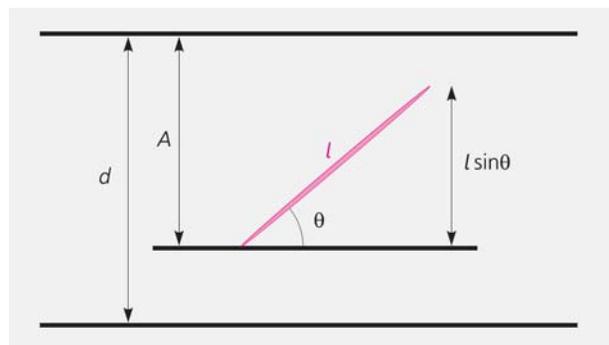


Рис.1. Схема опыта Бюффона.

Опыты Фокса

Много свободного времени было в 1876 г. у героя гражданской войны в США капитана О.С.Фокса, долго лечившегося в госпитале от полученных в сражениях ран. В таблице даны результаты трех его экспериментов (в двух последних он перед каждым броском иглы поворачивал плоскость).

Результаты Фокса иллюстрируют некоторые важные моменты метода Монте-Карло. Получив в первом эксперименте довольно плохую оценку числа π , Фокс изменил условия опыта и стал слегка поворачивать разлинованную плоскость между бросками. Тем самым он исключил некоторую *неслучайность* бросания иглы и добился повышения точности. Это относится к любому способу генерации случайных чисел.

В третьем эксперименте Фокс использовал иглу, длина которой настолько превышала расстояние между параллельными линиями, что она могла пересечь сразу три из них. Заметим, что формула (2) справедлива и в этом случае, поскольку число пересечений m (при заданном числе попыток и неизменном расстоянии между прямыми линиями) пропорционально длине иглы, а значит отношение l/m , фигурирующее в (2), от длины иглы не зависит. Зато число учитываемых событий — пересечений — существенно возрастает (в рассматриваемом случае — почти в четыре раза). Совершив всего 590 бросков, Фокс насчитал аж 939 пересечений. Потому, затратив примерно столько же усилий, что и в первых двух опытах, он получил более точное значение числа π . Вообще, погрешность σ метода Монте-Карло тем меньше, чем больше число испытаний n :

$$\sigma \propto \frac{1}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Рассмотрим чуть подробнее, как можно использовать метод Монте-Карло для вычисления определенного интеграла

$$I = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (4)$$

функции $f(x)$. Вычислить значение интеграла этой функции — значит найти площадь S под соответствующим ей графиком (см. рис.2).

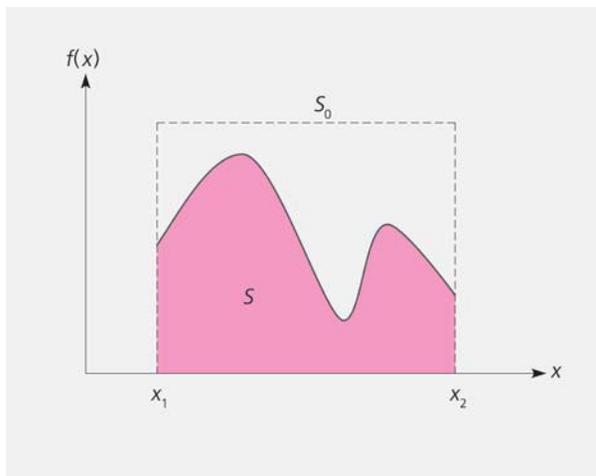


Рис.2. Определение значения интеграла методом Монте-Карло.

Закладываем кривую в прямоугольник площадью S_0 и случайным образом «разбрасываем» внутри него n точек. Пусть под кривой оказалось m из них. Естественно предположить, что доля m/n точек, попавших под кривую, должна быть примерно равна отношению площадей S/S_0 , т.е. $I \approx (m/n)S$. Точность вычисления интеграла при этом тем выше, чем больше число n исходных случайных точек.

На практике для вычисления одномерных интегралов вида (4) метод Монте-Карло, конечно, не применяют: для этого есть более точные методы — так называемые квадратурные формулы. Однако при переходе к многократным интегралам положение меняется: квадратурные формулы становятся очень сложными и требуют громадного объема вычислений, а метод Монте-Карло остается прежним. Единственное изменение состоит в том, что при вычислении N -кратного интеграла точки случайным образом распределяются не по двумерной площади, а внутри $(N + 1)$ -мерного объема. При этом оказывается, что при одинаковом количестве операций метод Монте-Карло дает гораздо более точное значение кратного интеграла, чем квадратурный метод, если $N > 3$. А встречающиеся в некоторых задачах интегралы кратностью $N \sim 10$ вообще никаким другим методом не могут быть рассчитаны!

Таблица

Результаты экспериментов Фокса по схеме Бюффона

Число бросков n	Число пересечений m	Длина иглолки l , дюйм	Расстояние между линиями d , дюйм	Плоскость	Приближенное значение π
500	236	3	4	неподвижная	3.1780
530	253	3	4	с поворотом	3.1423
590	939	5	2	с поворотом	3.1416

Лекторий Генератор Неймана и микросхема Тошибы

Один из главных элементов метода Монте-Карло — генератор случайных чисел. Понятно, что применять для этого рулетку, колоду карт или подбрасывать монету не очень удобно. В современных компьютерах используются специальные программы, генерирующие случайные числа (например, равномерно распределенные в интервале от нуля до единицы). Вообще-то утверждение о том, что компьютер может генерировать случайные числа, кажется странным. Ведь он работает по определенной программе, т.е. совершает в точности те действия, которые требует от него человек. На самом деле никакого элемента случайности в программе генератора случайных чисел нет. Принцип ее работы состоит в следующем. Сначала задается некоторое начальное число X_0 , которое затем с помощью совершенно определенной последовательности действий преобразуется в новое число

$$X_1 = \Phi(X_0), \tag{5}$$

где Φ — последовательность операций, преобразующих X_0 в X_1 . Она и определяет алгоритм генерации случайных чисел. В свою очередь число X_1 служит основой для получения следующего числа X_2 по тому же самому рецепту:

$$X_2 = \Phi(X_1). \tag{6}$$

Чаще всего функция Φ устроена так, что все числа X_1, X_2, \dots, X_N удовлетворяют неравенствам $0 \leq X_N \leq 1$. Они становятся искомыми «случайными» числами.

Однако всякий компьютер оперирует числами с конечным числом знаков. Поэтому количество таких «компьютерных чисел», меньших некоторого X , ограничено. Это означает, что рано или поздно очередное число X_N совпадает с тем, которое уже встречалось раньше, например, с X_{N-L} . После этого все начнет повторяться: X_{N+1} совпадет с X_{N-L+1} и т.д. Таким образом, последовательность чисел, получаемая с помощью формул (5), (6), неизбежно оказывается *периодической*. Но хотя эти числа только похожи на случайные (их называют псевдослучайными), ими можно пользоваться как случайными, если они удовлетворяют определенным критериям случайности, а количество чисел, которое требуется для решения данной задачи, меньше, чем период последовательности L .

Исторически первый метод генерации псевдослучайных чисел был предложен в 1946 г. известным математиком Джоном фон Нейманом, другом и коллегой Улама и Метрополиса по работе в Лос-Аламосе. Он называется методом середины квадратов и состоит в следующем. Допустим, что нужны четырехзначные «случайные» числа. Произвольно выбираем первое число X_0 , например $X_0 = 9876$. Возводим его в квадрат. Получаем восьмизначное число 97535376. Выбираем четыре средние цифры этого числа и обозначаем $X_1 = 5353$.

Это и есть следующее число последовательности. Возводим теперь в квадрат 5353, получаем 28654609. Следующее случайное число $X_2 = 6546$. Далее процесс повторяется. Случайные числа X_n , равномерно распределенные в интервале от нуля до единицы, получаются из чисел X_n по формуле $X_n = X_n/10^4$, где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, так что $X_0 = 0.9876$, $X_1 = 0.5353$, $X_2 = 0.6546$ и т.д. На первый взгляд метод кажется хорошим. Однако оказалось, что связанный с ним период цикличности, как правило, слишком мал. Поэтому было разработано много других более «удачных» числовых алгоритмов, один из которых (он называется линейно-конгруэнтным) таков. Выберем начальное число X_0 и с помощью трех других чисел a, b и m найдем следующее число X_1 по формуле

$$X_1 = \text{Остаток} \left[\frac{aX_0 + b}{m} \right], \tag{7}$$

согласно которой надо X_0 умножить на a (это число называется множителем), к результату прибавить b (это — сдвиг), полученную сумму разделить на m (так называемый модуль) и, наконец, найдя остаток от этого деления, обозначить его X_1 . Далее тот же рецепт используется, чтобы получить X_2 из X_1 и т.д. Найденные таким образом числа X_0, X_1, X_2, \dots могут принимать значения от 1 до $(m - 1)$ и «переносятся» в интервал от нуля до единицы путем деления на m . При правильном выборе параметров a, b и m этот простой генератор дает весьма длинные последовательности псевдослучайных чисел (надо взять очень большое значение модуля m и учесть ряд дополнительных условий при выборе чисел a и b). Тогда удастся получать очень длинные псевдослучайные последовательности (с периодом до 10^{18}), пригодные для большинства приложений.

В последнее время вместо «числовых» генераторов стали использовать «физические» генераторы случайных чисел. Так, в начале 2008 г. корпорация Toshiba представила микросхему, являющуюся сегодня самым производительным физическим генератором высококачественных последовательностей псевдослучайных чисел. Этот генератор берет за основу шум электрической цепи, который оцифровывается и преобразуется в псевдослучайную последовательность. Микросхема занимает всего 1000 мкм² и способна выдавать псевдослучайные числа со скоростью 2 мегабита в секунду. Проиллюстрируем для начала их применение в научной практике задачами из жизни магнитных систем.

Модель Изинга

Как известно, магнетизм различных тел связан с магнитными свойствами атомов, составляющих это тело. Последние, в свою очередь, обусловлены магнитными свойствами электронов, входящих в состав этих атомов. Наиболее важное «магнит-

ное свойство» электрона — наличие у него собственного магнитного момента (спина). В отличие от заряда, магнитный момент характеризуется не только величиной, но и направлением (т.е. это вектор). Обычно магнитные моменты электронов в твердом теле направлены в разные стороны, так что их (векторная) сумма практически равна нулю. Однако в некоторых случаях магнитные моменты значительной части электронов становятся параллельными друг другу. Тогда и возникает сильный магнетизм, или, как его обычно называют, — ферромагнетизм (от латинского ferrum — железо).

Причиной такого выстраивания магнитных моментов электронов служит их взаимодействие друг с другом. Представим, что магнитные моменты расположены в узлах регулярной решетки. Поскольку взаимодействие между ними быстро спадает с увеличением расстояния, можно ограничиться взаимодействием только *соседних* магнитных моментов. Будем считать, что такое взаимодействие благоприятствует выстраиванию магнитных моментов «соседей» вдоль некоторого выделенного направления и тем самым понижает энергию системы, внося в нее отрицательный вклад $-J$. Наоборот, антипараллельная ориентация соседних моментов энергетически невыгодна и приводит к увеличению энергии на величину $J > 0$. Это и есть модель Изинга, в которую, однако, необходимо внести еще один элемент — тепловые флуктуации.

Если тепловая энергия $\sim kT$, получаемая при конечной температуре магнитными моментами от решетки, сравнима с энергией их взаимодействия J , то в равновесном состоянии полной ориентации магнитных моментов не будет. Можно предположить, что суммарный равновесный магнитный момент системы будет максимален при $T = 0$, уменьшаясь при повышении температуры и превращаясь в нуль по достижении некоторой критической температуры T_c , называемой температурой Кюри.

В своей диссертации (1925) Эрнст Изинг изучил частный случай линейной цепочки магнитных моментов, связанных взаимодействием с ближайшими соседями. Он показал, что в такой одномерной модели ненулевая намагниченность не появляется ни при какой конечной температуре, т.е. $T_c = 0$.

Точное и полное решение для двумерной (прямоугольной) решетки было получено в 1944 г. Ларсом Онсагером. Его результат: $kT_c = 2/\ln(1 + \sqrt{2})J \approx 2.27J$, что означает возможность магнетизма при конечной температуре в двумерном случае. В настоящее время известны также точные решения двумерной проблемы Изинга для треугольной и шестиугольной решеток и решетки Бете*, а так-

* Эта решетка строится с помощью специальной процедуры и не является решеткой в обычном смысле этого слова. Она напоминает ветвистое дерево, в котором от каждой развилки отходит одинаковое количество ветвей. Каждый узел в такой решетке связан с одинаковым числом соседей, но в ней нет замкнутых путей.

же для небольшого числа других двумерных систем [4].

Что касается трехмерной модели Изинга, то, несмотря на многочисленные попытки, найти ее точное решение до сих пор не удалось (согласно приближенным аналитическим и компьютерным расчетам, в этом случае $kT_c \approx 4.5J$).

Перейдем теперь к рассмотрению возможностей метода Монте-Карло для расчета свойств системы магнитных моментов в модели Изинга, имея ввиду в первую очередь расчет термодинамически равновесного суммарного магнитного момента M (намагниченности) такой системы. Простейший вариант расчета мог бы выглядеть следующим образом. Пусть изучаемая решетка спинов содержит N узлов (со спином в каждом из них). Проводим первое испытание — генерируем последовательность N случайных чисел X_i , принимающих лишь два значения 0 и 1, и «направляем» спин в i -м узле «вверх», если $X_i = 1$, или «вниз», если $X_i = 0$. Для полученной конфигурации спинов (микросостояния) рассчитаем две характеристики — намагниченность M_1 и энергию E_1 , которая представляет собой сумму парных взаимодействий всех спинов. Индекс 1 при этих физических величинах означает, что они относятся к первому испытанию. Аналогично проведем второе, третье и последующие испытания. В результате мы получим множество парных значений M_n и E_n :

$$\left(\begin{matrix} M_1 \\ E_1 \end{matrix} \right), \left(\begin{matrix} M_2 \\ E_2 \end{matrix} \right), \left(\begin{matrix} M_3 \\ E_3 \end{matrix} \right), \dots \quad (8)$$

Конечно, было бы ошибкой вычислить равновесную намагниченность как среднюю (по всем нашим испытаниям) величину

$$M = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_n}{n} \quad (9)$$

Дело в том, что наши испытания дают с равной вероятностью любое микросостояние системы, в то время как на самом деле вероятность w_n того, что система находится в определенном микросостоянии, зависит от энергии системы E_n : эта вероятность тем ниже, чем энергия системы в данном состоянии выше: $w_n \propto \exp(-E_n/kT)$. Поэтому вместо простого среднего (9) надо находить взвешенное среднее

$$M = M_1 w_1 + M_2 w_2 + \dots + M_n w_n \propto M_1 \exp(-E_1/kT) + M_2 \exp(-E_2/kT) + \dots + M_n \exp(-E_n/kT) \quad (10)$$

Именно в эту формулу надо подставлять найденные в ходе наших испытаний значения M_n и E_n из последовательности (8).

Для точного расчета намагниченности системы по формуле (10) надо было бы перебрать все возможные микросостояния системы. Но это невозможно. Действительно, возьмем, например, скромную двумерную квадратную решетку спинов 10×10 .

Число различных конфигураций спинов (микросостояний) для такой решетки равно $2^{100} \approx 10^{30}$. Полный перебор такого огромного числа конфигураций не может осуществить ни один из существующих суперкомпьютеров! Выход в виде определенного алгоритма действий в такой ситуации предложил все тот же Метрополис.

Правило Метрополиса

При формулировке своего алгоритма Метрополис исходил из известного принципа *детального* равновесия. Термодинамическое равновесие не означает «застывания» системы в одном из микросостояний. В равновесной системе, состоящей из большого числа частиц, неизменными во времени (если отвлечься от малых флуктуаций) остаются лишь физические величины, относящиеся к системе в целом (они называются термодинамическими величинами). Сама же система все время «живет» — ее микросостояние непрерывно меняется, образуя случайную цепь близких конфигураций. При этом наряду с микропроцессом $C_i \rightarrow C_{i+1}$ осуществляется и обратный ему микропроцесс $C_{i+1} \rightarrow C_i$. Принцип детального равновесия утверждает, что в термодинамическом равновесии частота (число происходящих за 1 с) прямых микропроцессов $C_i \rightarrow C_{i+1}$ совпадает с частотой обратных микропроцессов $C_{i+1} \rightarrow C_i$.

Пусть система находится в состоянии C_i и вероятность того, что она в течение 1 с перейдет в состояние C_{i+1} , равна $p_{i \rightarrow i+1}$. Тогда частоту процесса $C_i \rightarrow C_{i+1}$ можно записать в виде $\Omega_{i \rightarrow i+1} = w_i p_{i \rightarrow i+1}$. Аналогично, для обратного процесса $\Omega_{i+1 \rightarrow i} = w_{i+1} p_{i+1 \rightarrow i}$. Используя принцип детального равновесия $w_i p_{i \rightarrow i+1} = w_{i+1} p_{i+1 \rightarrow i}$ и учитывая, что, согласно закону Больцмана, $w_{i+1}/w_i = \exp(-\Delta E/kT)$, находим

$$\frac{p_{i \rightarrow i+1}}{p_{i+1 \rightarrow i}} = \exp(-\Delta E/kT), \quad (11)$$

где $\Delta E = E_{i+1} - E_i$ — изменение энергии системы при переходе $C_i \rightarrow C_{i+1}$.

Метрополис понял, что если строить цепь микросостояний в методе Монте-Карло по «природному» рецепту (11), то конфигурация системы будет постепенно приближаться к равновесному состоянию (позже это положение было строго доказано). Предложенный им алгоритм состоит из двух этапов: 1) выбор новой конфигурации и 2) решение о ее принятии или отклонении. На первом этапе в уже существующей конфигурации случайным образом выбирается и переворачивается один из спинов — тем самым создается новая пробная конфигурация. На втором этапе принимается решение — принять или отвергнуть новую конфигурацию. Для этого вычисляется связанное с переходом в новое состояние изменение

энергии ΔE , и новое состояние безусловно принимается, если его энергия ниже энергии исходного состояния, т.е. $\Delta E < 0$. Если же $\Delta E > 0$, то в соответствии с (11) новое состояние принимается лишь с вероятностью $p = \exp(-\Delta E/kT) < 1$, которая тем меньше, чем более энергетически невыгодна пробная конфигурация.

Принятие решения в последнем случае производится следующим образом. Генерируется случайное число ξ в интервале от 0 до 1 и, если оказывается, что $\xi < p$, то новая конфигурация принимается, в обратном случае — отвергается. Далее описанный процесс повторяется, и после достаточно большого числа повторений он приводит к состоянию, близкому к термодинамически равновесному.

Именно этот рецепт используется в большинстве работ по исследованию фазовых магнитных переходов в системах, описываемых моделью Изинга (а также другими более сложными моделями) [5, 6].

Фазовый переход и кумулянт Биндера

Основное свойство магнитных систем — наличие или отсутствие в них магнитного порядка. Поэтому в качестве количественной характеристики такого порядка (или, как говорят, параметра порядка) удобно взять намагниченность системы. Последняя может меняться от 1 (когда все спины направлены в одну сторону) до 0 (когда спины направлены совершенно случайно). В двумерных и трехмерных системах переход из состояния с нулевой намагниченностью в состояние с конечной намагниченностью происходит при некоторой конечной температуре. Ее можно более или менее точно определить, пользуясь тем обстоятельством, что в точке фазового перехода намагниченность резко меняется, а некоторые характеристики системы даже становятся бесконечно большими (в нашем случае это, например, магнитная восприимчивость, которая характеризует отклик системы на внешнее магнитное поле).

Все сказанное относится к системам неограниченных размеров (или — настолько большим, что их свойства практически не отличаются от свойств бесконечной системы). Однако любое численное моделирование (в том числе и метод Монте-Карло) возможно лишь для систем ограниченных размеров, в которых нет резких фазовых переходов. На рис.3 показано, как меняется с температурой намагниченность трех изинговских спиновых решеток разного размера. Видно, что в самой маленькой решетке 2×2 переход из ненамагниченного состояния в намагниченное происходит очень плавно. Однако даже в большой решетке 16×16 этот переход довольно сильно размыт, что делает точное определение температуры фазового перехода затруднительным. Напомним,

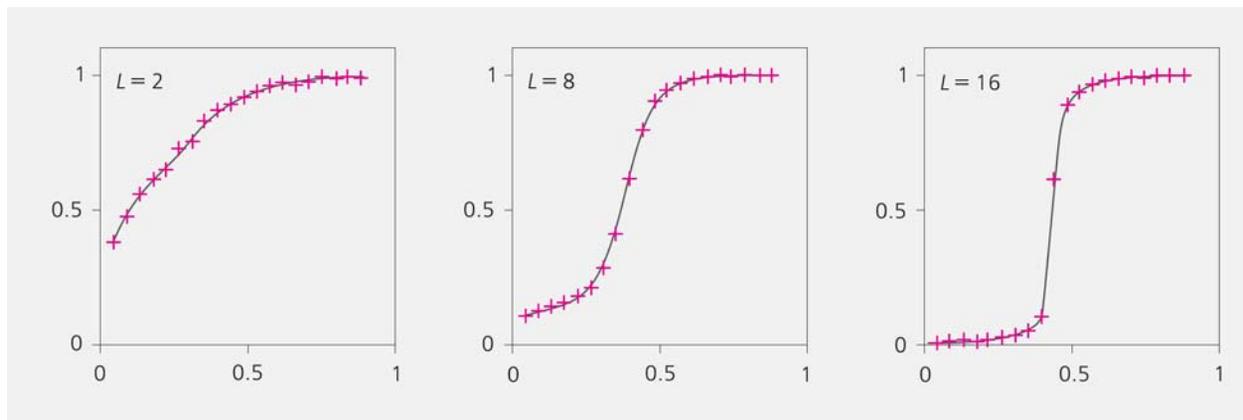


Рис.3. Средняя намагниченность $\langle M \rangle / L^2$ в двумерных решетках 2×2 , 8×8 и 16×16 при различных значениях «обратной температуры» J/kT .

что точное значение температуры T_c фазового перехода (для бесконечной решетки) в рассматриваемом случае таково, что $J/kT_c = \ln(1 + \sqrt{2})/2 \approx 0.44$.

Эту сложность удалось преодолеть с помощью теории конечно-размерного масштабирования. Она предсказывает закон, по которому меняется средняя намагниченность $\langle M_i \rangle$ решетки при изменении ее размеров L . Один из практически важных параметров этой теории — так называемый кумулянт Биндера U_L — зависящее от L и T выражение, в которое входят средний квадрат намагниченности решетки $\langle M_i^2 \rangle$ и среднее значение четвертой степени $\langle M_i^4 \rangle$ намагниченности:

$$U_L = 1 - \frac{1}{3} \frac{\langle M_i^4 \rangle}{\langle M_i^2 \rangle^2}.$$

Оказывается, что температурные зависимости кумулянтов U_L для решеток разных размеров пересекаются в одной точке [7], а именно при температуре T_c фазового перехода! Это позволяет с высокой точностью находить T_c даже для трехмерных решеток (см. рис.4).

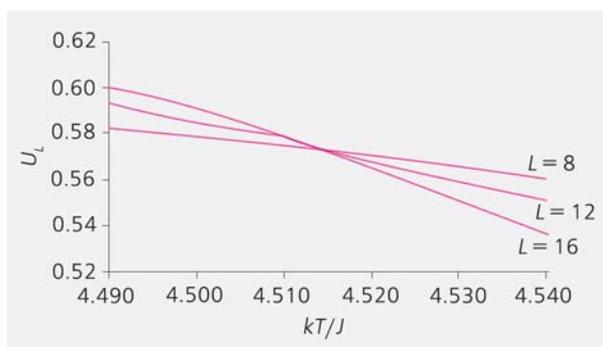


Рис.4. Кумулянты Биндера для кубических изинговских решеток $8 \times 8 \times 8$, $12 \times 12 \times 12$ и $16 \times 16 \times 16$. Точке пересечения соответствует $kT/J = 4.515(25)$ (при «точном» значении $kT/J = 4.5115(1)$).

Использование кумулянтов Биндера существенно снижает объем вычислений для «простых» изинговских систем. Однако в более сложных случаях и этот метод недостаточно эффективен. Рассмотрим, например, кубическую решетку магнитных моментов, которые взаимодействуют не только со своими ближайшими соседями (число которых равно 6), но и с «дальними» соседями — теми магнитными моментами, расстояние до которых не превышает, скажем, десяти периодов решетки. Таких соседей уже около 1000, и это делает применение метода Монте-Карло практически невозможным. В подобном случае приходится прибегать к приближенным аналитическим методам. Один из них состоит в определении средней величины и разброса значений эффективного магнитного поля, действующего на магнитные моменты. Этого оказывается достаточно для того, чтобы найти приближенное значение температуры Кюри [8].

Задача коммивояжера

Универсальность метода Монте-Карло позволяет применять его для решения самых разных задач. Для примера рассмотрим так называемую задачу коммивояжера, который должен выбрать оптимальный (по протяженности) маршрут однократного посещения некоторой определенной совокупности городов.

Количество возможных при этом различных маршрутов легко посчитать. Для N городов (включая город, где начинается путешествие) число таких маршрутов равно $(N - 1)! : (N - 1)$ вариантов выбора первого города, $(N - 2)$ варианта выбора второго города и т.д. Например, для 10 городов это дает 360 880 возможных маршрутов. Это не так уж много, и современный компьютер может достаточно быстро перебрать все маршруты и выбрать из них оптимальный. Однако с ростом N число

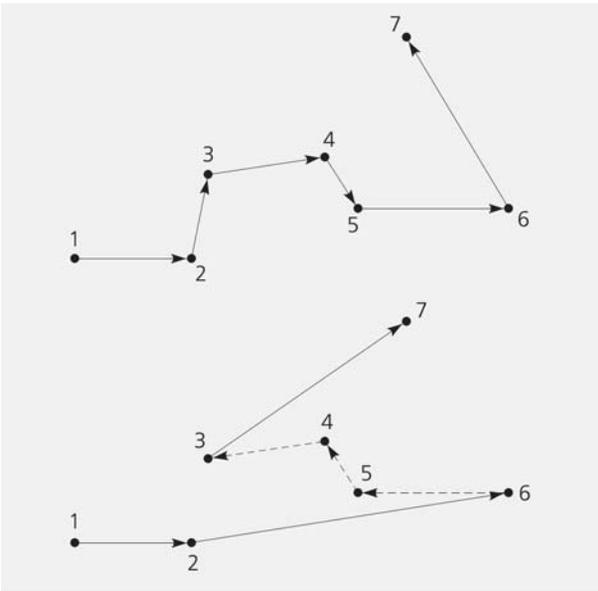


Рис.5. Преобразование старого маршрута (вверху) в новый (внизу).

возможных вариантов катастрофически быстро увеличивается. Так, $20! \approx 200\,000\,000\,000\,000\,000$, и даже расчет на самом мощном современном компьютере займет несколько часов. Если же взять, скажем, $N = 40$, то о простом переборе всех вариантов следует забыть!

Однако в этом случае можно использовать метод Монте-Карло. Начиная с некоего произвольно выбранного маршрута, будем постепенно «улучшать» его с помощью описанного выше правила Метрополиса. На первом этапе преобразуем существующий маршрут в новый. Это можно делать раз-

личными способами, например так: последовательно пронумеровав все города в порядке их следования в старом маршруте, генерируем два случайных целых числа k, l (пусть для определенности $k < l$) со значениями в интервале от 1 до N (в приведенном на рис.5 примере $k = 3, l = 6$). На участке старого маршрута $k \rightarrow k + 1 \rightarrow k + 2 \rightarrow \dots \rightarrow l$ (участок $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ на рис.5) направление движения заменяем на обратное. То, что после этого получится, и будет новым пробным маршрутом.

Пусть длина нового маршрута отличается на величину ΔL от длины старого. Если $\Delta L < 0$, новый маршрут безусловно принимается. Если же $\Delta L > 0$, то он принимается лишь с вероятностью $p = \exp(-\Delta L/L_0) < 1$, где L_0 — аналог температуры (см. выше). Выбор этой фиктивной температуры очень важен: при больших значениях L_0 вероятность принятия «плохого» маршрута велика, но зато гораздо шире поле исследуемых вариантов. При малых значениях L_0 маршрут почти на каждом шаге «улучшается», но поле вариантов узко и процесс может не привести к оптимальному маршруту. В связи с этим «температуру» L_0 вначале берут достаточно большой и в процессе расчета постепенно понижают. Это есть аналог процесса термического отжига дефектов, достигаемого повышением (истинной!) температуры и последующим охлаждением кристалла.

Результат применения описанного метода для решения задачи коммивояжера при $N = 50$ показан на рис.6. Все 50 городов расположены случайным образом внутри квадрата 1×1 . Приведены два решения, соответствующие разным исходным маршрутам и найденные после приблизительно 17 000 шагов применения алгоритма Метрополиса. Длина маршрута (а) равна 6.09, а маршрут (б) несколько длиннее. Хотя исследуе-

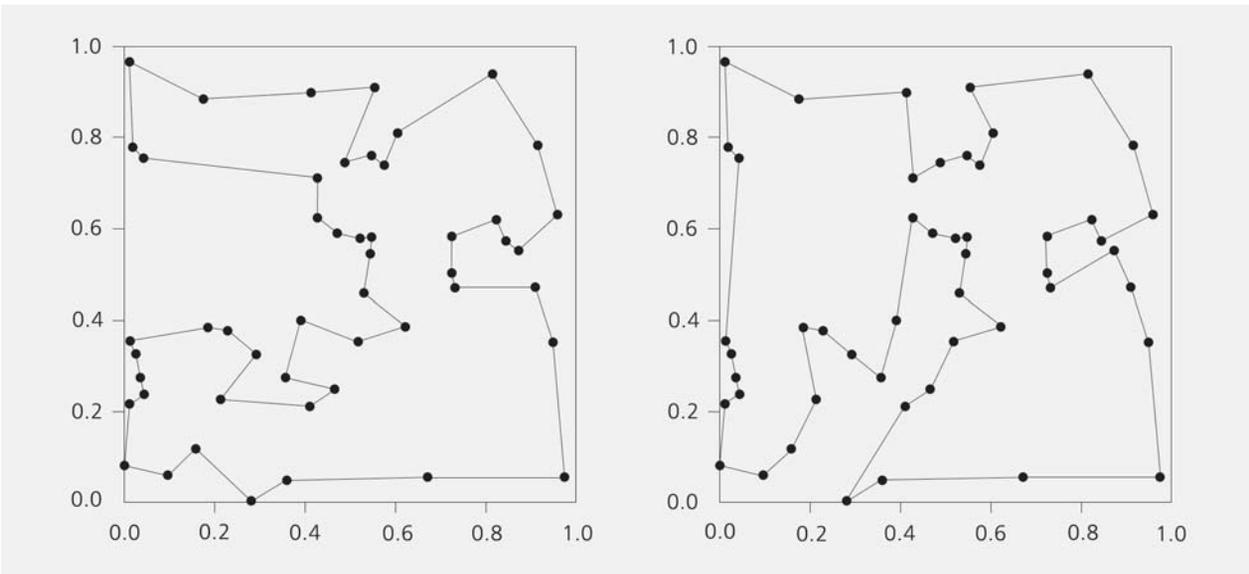


Рис.6. «Почти оптимальные» маршруты в задаче коммивояжера.

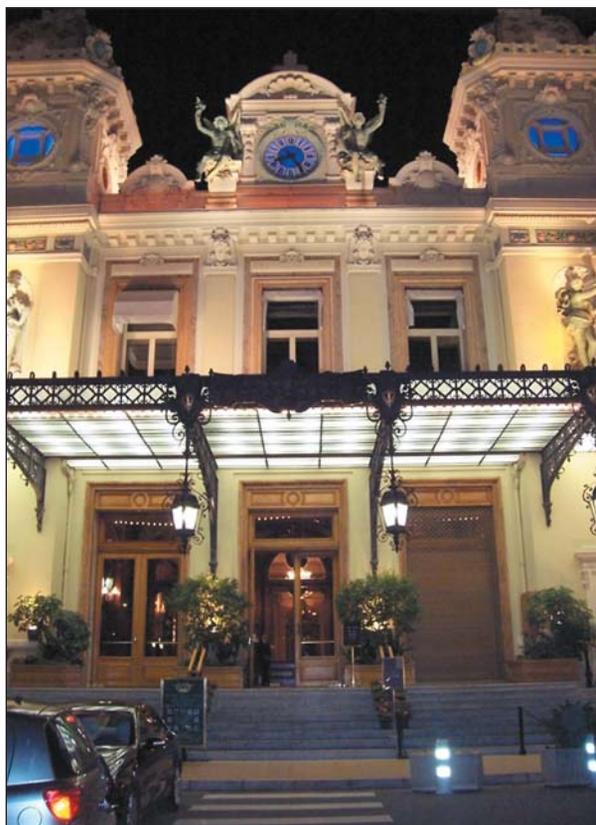
мые варианты составляют ничтожную долю всех возможных конфигураций, найденные маршруты, как правило, оказываются очень близки к оптимальному.

Понятно, что аналогичным методом можно решать многие задачи, сводящиеся к нахождению минимума (или максимума) некоторой сложной функции многих переменных.

Вместо эпилога

Постоянно развиваясь и совершенствуясь, метод Монте-Карло стал к настоящему времени одним из наиболее универсальных численных методов решения самых разнообразных задач не только физики, но и химии, биологии, экономики, финансов и т.д. Описанию его различных приложений посвящено множество статей и монографий. Соответствующие учебные курсы входят в программы многих университетов. Рассмотренные выше примеры использования метода Монте-Карло — лишь краткая иллюстрация его возможностей. Разговор на эту тему можно было бы продолжать и продолжать...

Однако тут впору вспомнить известный анекдот. В Монте-Карло из казино выходят два человека. Один совсем голый, а другой в трусах. — «Я вас очень уважаю, — говорит голый. — Потому что вы знаете меру и своевременно останавливаетесь». ■



Казино Монте-Карло.

Литература

1. Улам С. Приключения математика. Ижевск, 2001.
2. *Metropolis N., Ulam S.* // Journal of the American Statistical Association. 1949. V.44. P.335.
3. LANL report: LAUR-86-2600, U.S GOVERNMENT PRINTING OFFICE 1986-676-104/40022.
4. Мейлихов Е.З. Трагическая и счастливая жизнь Эрнста Изинга // Природа. 2006. №7. С.13—21.
5. *Hanson K.M.* Tutorial on Markov Chain Monte Carlo (2000) // <http://public.lanl.gov/kmh/talks/maxent00b.pdf>
6. *Newman M.E.J., Barkema G.T.* Monte Carlo Methods in Statistical Physics. Oxford, 1999.
7. Биндер К., Хеерман Д.В. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. М., 1995.
8. *Meilikhov E.Z.* // Physica B. 2008. V.403. P. 2811.

Лесные «острова» Южного Ямала

Вести из экспедиций

О.В.Смирнова,

доктор биологических наук

М.П.Шашков

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Москва*

В.Н.Коротков,

кандидат биологических наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства*

Москва

А.И.Широков,

кандидат биологических наук

Нижегородский государственный университет

Современная северная граница тайги в течение позднего голоцена существенным образом отодвинулась на юг — не последнюю роль здесь сыграло двух-трехтысячелетнее воздействие домашнего оленеводства. Так, в окрестностях г.Салехарда в XIX и в начале XX в. леса были полностью вырублены на больших площадях и эти вырубки заняли тундровые сообщества. В результате рубок и уничтожения подроста, а затем и взрослых деревьев на зимних стойбищах оленеводов северная граница леса на этой территории отступила более чем на 100 км на юг [1].

Однако леса отступали не везде. В наиболее благоприятных по экологическим условиям местообитаниях — в речных долинах и низкогорьях, далеко за пределами сплошной границы северной тайги — сохранились уникальные фрагменты лесов с большим и разнообразным набором видов растений и почвенной фауны. Это рефугиумы — убежища видового разнообразия прошлых эпох. Один из таких лесных рефугиумов найден в 60-х годах С.С.Шварцем

и Л.Н.Добринским на Южном Ямале в долине р.Большая Хадыта [2]. На этой территории в 1992 г. был образован Горно-Хадытинский государственный заказник Ямало-Ненецкого автономного округа.

В 1999 и 2001 гг. в пределах этого заказника мы исследовали лесные массивы с участием ели сибирской и лиственницы сибирской в долине р.Большая Хадыта и ее притоков: Наравойхадыта, Пусьеркашор, ручей Хабакова и в долине р.Щучьей в месте впадения в нее ручья Орангъюган. Лесные участки представляют собой небольшие, часто ленточные фрагменты лесов размерами в несколько или несколько десятков гектар, расположенные в долинах речек и ручьев или в нижних частях склонов Полярного Урала. С вершин Полярного Урала они выглядят как острова среди кустарничковых и мохово-кустарничковых тундр, болот и озер.

Эта территория — традиционные места зимних стоянок северных оленей, и после организации заказника, которая состоялась в 1997 г., на ней было разрешено продолжить этот вид традиционного природопользования. Свидетельство давнего

обитания человека на этой территории — найденные нашей экспедицией в 2001 г. в устье р.Орангъюган фрагменты глиняной посуды, относящиеся к полуйской культуре, и датированные археологом В.Ф.Старковым временем 2—2,5 тыс. лет назад.

По свидетельствам работников заказника, до начала 90-х годов в местах зимних стоянок оленей напочвенный покров почти полностью уничтожился (с вертолета стоянки были заметны по черной земле). Время организации заказника совпало со спадом оленеводства в 90-х годах XX в. В это время обнаженные участки почвы заросли мхами, лишайниками, травами и кустарничками, на них появился подрост лиственницы и березы.

Из двух типов лесов заказника наибольший интерес исследователей вызывают лиственнично-еловые высокотравные леса. Их состав, структура и видовые богатство и разнообразие подобны наиболее хорошо сохранившимся лесам северной и средней тайги зонального типа [3, 4]. В первом ярусе этих лесов Южного Ямала господство делят ель и лиственница, с примесью березы белой. В подросте

представлена в основном ель с небольшим участием лиственницы, а кустарниковый ярус — ольхой кустарниковой, спиреей средней и шиповником иглистым. Это в полном смысле лесные сообщества со средней сомкнутостью крон древесного яруса — 0.3–0.4, что вполне обычно для высокотравных ельников и пихто-ельников северной и даже средней тайги. В них скопления взрослых деревьев ели и лиственницы высотой до 18–23 м, а максимальным возрастом 300–400 и более лет, чередуются со скоплениями молодых деревьев или кустарников и с окнами, сформировавшимися в результате отмирания старых деревьев.

Смерть и падение одного или нескольких деревьев, как и в наиболее хорошо сохранившихся зональных таежных лесах, сопровождается образованием своеобразного микрорельефа. Он включает яму, формирующуюся при выворачивании корневой системы с комлем, бугор из комля и сохранившейся на нем почвы, и собственно разлагающиеся стволы мертвых деревьев. Все эти элементы микрорельефа определяют высокую разнообразность сообщества, а следовательно, и возможность совместного существования в нем различных видов. В многоярусном травяном покрове таких лесов фон создают крупные травы, такие как борец северный, купальница, василистники, герань белоцветковая, сердечник крупнолистный, подмаренник северный, крестовник дубравный, чемерица Лобеля, бодяк разнолистный, иван-чай узколистый, вейник Лангсдорфа и многие другие виды. Они растут как на ровных участках в окнах, так и на буграх и в западинах. Под ними и на разрушающихся валежниках обитают обычные для таежных лесов мелкие травы и кустарнички: седмичник, линнея северная, брусника, вороника, зеленые мхи и лишайники, а также возобновляется ель и изредка лиственница.



Долина р. Большая Хадыта в пределах Горно-Хадытинского государственного заказника.

Здесь и далее фото В.Н.Короткова

Такой показатель биоразнообразия, как видовая насыщенность (число видов на 100 м²) сосудистых растений в высокотравных лесах Южного Ямала вполне сравнима с этим же показателем в северо- и среднетаежных высокотравных лесах Северной Карелии и Среднего Урала [4, 5]. Она более 36 на Ямале, от 30 до 36 видов в Карелии и на Урале.

Особо следует отметить господство в высокотравных лесах Ямала собственно лесных (таежных трав, кустарничков и мхов) и практически полное отсутствие тундровых видов. С биогеографической точки зрения наиболее интересны находки видов, северные границы сплошных ареалов которых расположены южнее, в среднетаежных лесах — это щитовник австрийский, адокса мускусная, подмаренник северный, мерингия бокоцветная, крестовник дубравный.

В перегнойных почвах высокотравных лесов найдено довольно богатое население почвенных животных. Среди них два вида дождевых червей — *Eisenia nordenskioldi* и *Dendrobaena octaedra*, плотность которых достигает 11 — 33 особей/м², что сопоставимо со средними пока-

зателями для северо- и среднетаежных лесов — 20 особей/м² [6].

В таких лесах практически не прослеживаются следы недавних антропогенных воздействий: нет пней (свежих или разрушающихся от старости), огневых ран на коре лиственниц, углей в подстилке или в почве.

Популяция ели сибирской в высокотравных лиственнич-



Появление молодых лиственниц в местах зимних стоянок домашних оленей после сильного сокращения поголовья стад.



Кустарники: спирея средняя и шиповник иглистый в высокоотравных лесах заказника.



Лиственнично-еловый высокоотравный лес и естественное отмирание крупных елей от старости — образование ямы, бугра и валежа.

Здесь и далее фото О.В.Смирновой

но-еловых лесах включает все возрастные группы — подрост, молодые деревья, еще не начавшие образовывать семена, и уже образующие их, средневозрастные и старые деревья. При этом максимум приходится на молодые особи. Это свидетельствует о постоянном появлении потомства ели под пологом леса, а следовательно, и об устойчиво-

сти популяции в целом. В высокоотравных северо- и среднетаежных лесах ель обычно хорошо возобновляется на разлагающихся стволах мертвых деревьев — на валеже. Именно он обеспечивает постоянный поток поколений ели в таких лесах. У лиственницы сибирской подростка и молодых деревьев значительно меньше, чем у ели, а средне-

возрастных и старых деревьев столько же или больше. Это свидетельствует о периодическом возобновлении лиственницы в высокоотравных лесах. Известно, что в северотаежных лесах и в лесотундре лиственница сибирская успешно возобновляется на обнаженном субстрате, поэтому она успешно поселяется на первых стадиях восстановления лесов и постепенно уходит из сообществ, не выдерживая конкуренции с елью, кустарниками и высокими травами.

На модельной пробной площади размером 0.25 га был определен абсолютный возраст деревьев с помощью возрастного бура. Результаты исследования свидетельствуют о регулярном возобновлении молодых растений ели и эпизодическом — лиственницы в этом типе леса. Учитывая, что в исследованных массивах лиственнично-еловых лесов максимальный (определенный нами) возраст ели составляет около 400 лет, а лиственницы — более 400 лет, можно предположить, что такие леса существуют на Южном Ямале длительное время. Возможно, это фрагменты северотаежных лесов, существовавших на этой территории с начала позднего голоцена [7, 8] и сохранившиеся как рефугиумы таежных видов.

Лиственничные леса с примесью ели, ерничково-бруснично-голубичные, имеют более простую структуру из-за небольшого количества ели и малой сомкнутости крон древесного яруса — 0.1—0.2. В них нет заметных скоплений крупных деревьев, кустарников и подростка, а также окон, сформировавшихся при отмирании крупных старых деревьев. Низкая жизненность деревьев лиственницы и мощная подстилка из корневищ и корней карликовой березки (ерника) препятствует выворачиванию корневых систем, смерть деревьев не сопровождается образованием бугров и западин. Чаще всего стволы, поврежденные грибами, ломаются у основания. Вместо высоких трав с большой



Обычные таежные виды: седмичник европейский (слева), линнея северная и брусника в высокотравных лесах заказника.

листовой поверхностью, образующих мягкую, быстро разлагающуюся подстилку, здесь доминируют вечнозеленые кустарнички. Голубика, брусника, водяника и др. создают медленно разлагающуюся подстилку из плотной сети корневищ, препятствующую возобновлению деревьев и кустарников. Еще более мощное препятствие для развития молодого поколения ели и лиственницы — кустарниковый ярус из карликовой березки (ерника). Из-за слабо развитого микро рельефа и высокой сомкнутости ерника видовая насыщенность сосудистых растений этих лесов мала и составляет около 12 видов на 100 м². Кроме таежных кустарничков и трав здесь существенную роль играют тундровые виды.

В этих лесах популяции ели и лиственницы представлены небольшим числом генеративных особей, а подрост полностью отсутствует, несмотря на постоянное образование семян взрослыми растениями. Подрост ели не развивается ни под густым покровом ерника, ни в сомкнутом покрове из кустарничков (голубика, вороника) из-за сильного затенения напочвенного покрова и конкуренции



Борец северный, чемерица Лобеля и вейники в окнах высокотравных лесов заказника. На врезке слева — дождевые черви, справа — почвенный слой.

за элементы минерального питания. Еще более затруднено в этих условиях возобновление лиственницы. Ей, как пионерному виду, для формирования нового поколения необходим обогащенный субстрат и значительно более освещенные местообитания, чем для ели.

В этом типе леса достаточно четко прослеживаются следы

антропогенных воздействий: свежие и старые пни, кучи сложенных стволиков лиственниц и елей (неиспользованные заготовки шестов для чумов и для других хозяйственных целей местного населения), следы зимних стоянок оленей, кострища и др.

Поскольку и высокотравные лиственнично-еловые леса, и



Общий вид лиственничников, сформировавшихся в результате постоянных рубок местным населением. На врезке — лиственничный пенёк.

лиственничные леса с примесью ели (ерниково-бруснично-голубичные) расположены в непосредственной близости и на одних и тех же элементах рельефа, то их различия можно только объяснить разной историей использования. Сохранившиеся до настоящего времени участки высокоствольных лесов по каким-то причинам оказались в наименьшей степени преобразованы местным населением и сохранили черты природных лесов. Основное их отличие от природных таежных лесов — малые размеры, которые не позволяют им в полной мере выполнять средообразующие функции: сглаживание температурных колебаний, увеличение глубины сезонного протаивания почв. Современные лиственничные леса с примесью ели (ерниково-брус-

нично-голубичные) возникли, вероятно, вследствие перманентного уничтожения молодых деревьев ели и лиственницы. Этапы этого процесса можно и сейчас проследить в серии сообществ. На первом этапе можно видеть небольшое число свежих пней молодых лиственниц и елей, а на последнем — редины с многочисленными пнями, постепенно превращающиеся в кустарничковые тундры. В этих рединах ель не возобновляется в связи со слабым сезонным протаиванием почвы, а лиственница — из-за отсутствия обогащенного субстрата.

* * *

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить лесные сообщества, где устойчиво существуют основные

виды таежных лесов: деревья, кустарники и значительный набор бореальных трав. Высокая численность ели (и в некоторых сообществах — лиственницы) и активные процессы зарастания лиственницей опушек и полян внутри леса (как в низкогорье, так и в средней части горного пояса) позволяет предположить, что в настоящее время лесные сообщества не занимают все доступные им позиции в рельефе.

Особенности роста и развития ели и лиственницы в высокоствольных лесах и большой набор сугубо лесных видов приводят к заключению, что рельеф и климат рассматриваемой территории — не основная причина ее малой лесистости. Вероятно, сокращение позиций леса на территории Южного Ямала — следствие антропогенных воздействий, в первую очередь высокой пастбищной нагрузки. Для подтверждения этих предположений необходимы дополнительные исследования, экологические эксперименты по возобновлению ели и лиственницы на безлесных территориях в пределах заказника и детальный исторический анализ природопользования.

Авторы выражают глубокую благодарность начальнику управления по охране, контролю и регулированию охотничьих животных Ямало-Ненецкого автономного округа С.М.Ширшову за организацию работ и постоянные консультации, руководителю Горно-Хадытинского заказника Н.М.Морозову и сотрудникам заказника за постоянную помощь в работе и дружеское расположение. ■

Литература

1. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск, 1985.
2. Шварц С.С., Добринский Л.Н. Животный мир Хадыты // Природа. 1966. №1. С.25—32.
3. Растительный покров в голоцене и современность. Кн.1, 2 / Ред. О.В.Смирнова. М., 2004.
4. Смирнова О.В., Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. // Успехи совр. биологии. 2006. №1. С.27—49.
5. Смирнова О.В., Коротков В.Н. // Бот. журн. 2001. Т.86. №1. С.98—109.
6. Чернов Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М., 1975.
7. Кошкарлова В.Л., Карпенко Л.В., Орлова Л.А. // Экология 1999. №2. С.121—125.
8. Хантемиров Р.М., Шиятов С.Г. // Экология. 1999. №3. С.63—69.

Мы снова в Антарктике

Б.И.Сиренко,
доктор биологических наук
С.Ю.Гагаев,
кандидат биологических наук
В.Л.Джурицкий
Зоологический институт РАН

Впервые наши зоологи погрузились в антарктические воды для проведения гидробиологических исследований в 1965—1966 гг. — во время 11-й Советской антарктической экспедиции (САЭ). Ученые-аквалангисты Е.Н.Грузов, А.Ф.Пушкин из лаборатории морских исследований Зоологического института АН СССР (ЗИНа) и М.В.Пропп из Мурманского морского биологического института Кольского филиала АН СССР (ММБИ) обследовали донные сообщества на нескольких гидробиологических разрезах вблизи станций «Мирный» и «Молодежная». Впервые был изучен видовой состав и количественное распределение бентосных организмов на разных глубинах вплоть до 46 м. Эти исследования были продолжены в ходе сезонных работ 13-й САЭ (1967—1968) и круглогодичной зимовки 16-й САЭ (1970—1971), к прежним участникам которых присоединились ЗИНовцы А.М.Шереметевский, В.П.Люлеев, а также фотограф-подводник С.Н.Рыбаков.

Собрать богатейший зоологический материал в столь неблагоприятных для развития жизни условиях мелководья, где особенно сильно экстремальное воздействие припайных и паковых льдов, удалось только благодаря применению легководолазной техники. Уникальные сведения о составе и распределении мелководных антарктических животных полу-

чили широкое международное научное значение и поставили ЗИН в число ведущих учреждений по исследованию фауны Антарктики. На основе экспедиционных данных были опубликованы сотни научных и научно-популярных статей и несколько монографий, включая прекрасно изданный в 1976 г. альбом цветных подводных фотографий С.Н.Рыбакова «Живая Антарктика».

Шли годы, в течение которых сотрудники лаборатории морских исследований ЗИНа занимались изучением фауны арктических и дальневосточных морей России. С использованием водолазного количественного метода, разработанного А.Н.Голиковым, было проведено более 20 водолазных экспедиций во все моря Российской Арктики и Дальнего Востока.

В период «перестройки» нашей страны все водолазные исследования были практически прекращены. Отсутствие финансирования, бедственное положение сотрудников лаборатории, нехватка подготовленных кадров — все это на долгие годы сделало неосуществимым подобные наблюдения. В наступившем столетии не произошло коренных изменений в лучшую сторону, престиж ученых не поднят, а прагматично настроенную молодежь не волнует дух романтики. Она редко интересуется научными исследованиями, и поэтому сейчас трудно найти начинающего зоолога, который бы за низкую зарплату участвовал в тяжелых полярных

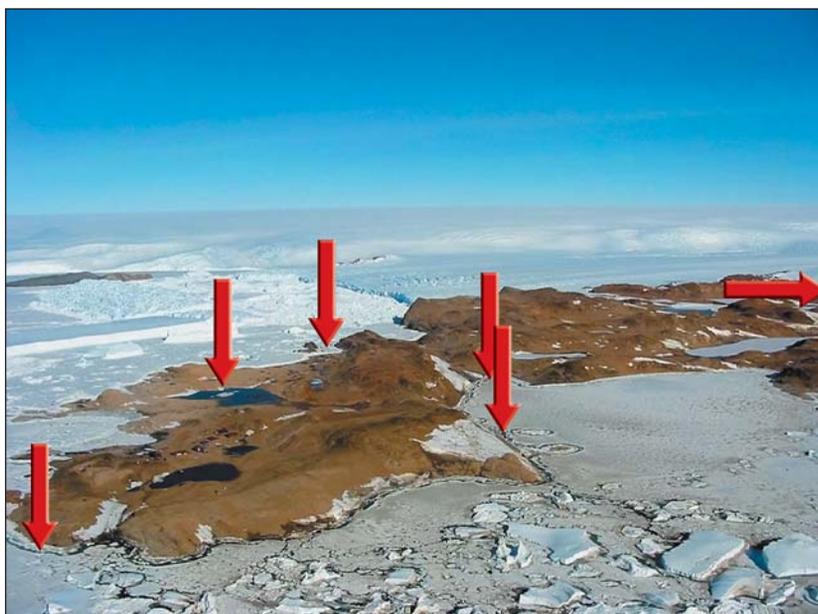
экспедициях, да еще погружался бы под лед в холодную воду. Тот факт, что у нас в лаборатории появился аспирант, мечтавший о таких экспедициях, — не правило, а счастливое исключение, которое позволило нам создать водолазную станцию в составе трех (!) водолазов. Приближение Международного Полярного года — другая причина, помогшая нам пробудить интерес к водолазным биологическим изысканиям в Антарктике среди чиновников Российской антарктической экспедиции.

Наша заявка на участие в 52-й Российской антарктической экспедиции была принята в начале 2006 г., и мы начали готовиться к предстоящим водолажным работам в Антарктике. Основной вопрос, стоявший перед нами в этой связи был: «В чем и с чем будем погружаться?» Мы располагали лишь несколькими старыми аквалангами АВМ-1м, двумя древними французскими компрессорами «Super Cyclon» и пятью не менее древними гидрокостюмами «Садко-2». В отсутствие средств на новое современное оборудование и снаряжение решили остановиться на старом испытанном, которое ни разу не подводило нас в суровых условиях Арктики. Получили «добро» от «Котлонадзора» на ближайшие пять лет для баллонов АВМ-1м, проверили и заменили на новые все резиновые уплотнительные кольца, клапаны и мембраны. Наладили один компрессор, подклеили «Садко» и трехпалые перчатки. Собрали орудия сбора для донных

© Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю., Джурицкий В.Л., 2008



Участники водолазной экспедиции, аквалангисты-зоологи (слева направо): начальник экспедиции Б.И.Сиренко, старшина водолазной станции С.Ю.Гагаев, ответственный за медицинское обеспечение В.Л.Джуринский.



Антарктический оазис в заливе Прудс летом, вид с птичьего полета. Стрелки указывают места гидробиологических водолазных разрезов.

и планктонных животных, запаковали все перечисленное и массу других нужных в экспедиции вещей в 42 больших ящика общим весом более полутора тонн и 30 октября 2006 г. загрузили все это в картофельный трюм (другого места не нашлось) научно-экспедиционно-го судна «Академик Федоров».

Пока судно месяц шло вокруг Африки, двое из нас окончили дополнительные курсы: С.Ю.Гагаев — руководителя водолазных погружений, а В.Л.Джуринский — медицинские. Это требовалось для того, чтобы нам официально разрешили самостоятельно работать. Наконец, 3 декабря мы сели в самолет, ко-

торый доставил нас из зимнего Санкт-Петербурга в летний Кейптаун. Три дня стоянки судна в Кейптауне мы провели с пользой для себя и науки, собирая под водой животных в бухте Фальшивая, на самом юге Африки. На переходе от Кейптауна до Антарктиды опять попали в зиму, точнее, в антарктическое лето, где было очень много снега, льда, холодного ветра и масса разнообразных интересных впечатлений.

После захода на антарктическую станцию «Молодежная», 21 декабря мы вместе с нашим полутоннажным багажом загрузились в вертолет и покинули борт судна «Академик Федоров». Нас высадили в «оазисе» у российской антарктической станции «Прогресс». Оазисом в Антарктиде называют участки, где в отличие от большей части южного материка, покрытого четырехкилометровым льдом, летом скалы освобождаются от снега и льда, остаются лишь небольшие снежники и ледники.

Мы поселились в хижине с названием «Черепаша»; можно было бы занять место в двухэтажном дощатом общежитии с необычным для такого заведения именем «Лена», но предпочли независимость комфорту. Из всех мыслимых удобств была только раковина со сливом прямо на улицу, да электрическое освещение; за всем другим — будьте любезны прогуляться в общежитие. Увеличиваем комфорт нашего жилища, приспособив вместо отсутствующего умывальника пластиковую бутылку из-под минералки, отрезав донце и прибив гвоздем к стене. Воду носим в ведре с камбуза или из бака возле общежития. Димасиноптик отдал нам масляный обогреватель, ночью такая грелка здесь необходима. С постельным бельем и одеялами здесь тоже проблема, но она, в конце концов, решена. Быт наш налажен, много ли нам нужно: мы можем кипятить воду, спать на нарах и разбирать собранный материал в соседней комнатке, от-

веденной под лабораторию; аналогичная комнатка приспособлена под хранение водолазного имущества.

С погодой нам повезло, большую часть времени (а мы работали до 16 января 2007 г.) было солнечно. Только однажды, в середине нашего пребывания на материке, ночью поднялся очень сильный стоковый ветер, унесший и разорвавший о ледяные выступы нашу резиновую лодку и часть нашей водолазной одежды и гидробиологических снастей.

Неделя «войны» с капризным старым французом «Суперциклон», когда потребовался весь накопленный Джуриным шотландский опыт и стоическое терпение Гагаева, пытавшегося завести двухтактный двигатель на плохом бензине с водой, не прошли даром. В перерывах этой битвы мы погружались под лед. Уже через два дня после высадки мы работали в фьорде Нелла; акваланги были предусмотрительно заполнены воздухом еще на судне. Майну не стали рубить, так как был «заберег» — узкая полоска воды между льдом, лежащим в прибрежной части фьорда, и основной массой морского льда, покрывающего всю поверхность фьорда.

Между населением суши и подледным миром — резкий контраст. На поверхности в районе станции «Прогресс» можно было найти только редкие лишайнички, покрывающие тонкой пленкой камни; из птиц — поморников, буревестников и пингвинов Адели. Ни травинки, ни веточки... Под водой — совсем другое дело. Чем глубже мы погружались, тем разнообразнее становилась фауна и флора и увеличивалась плотность их населения. Вначале глубина погружения была небольшой — 3—5 м. Обилие жизни на дне поражало. Уже на этой малой глубине была масса красных ежей, звезд, морских анемонов и крупных двустворчатых моллюсков с красивой перламутровой раковиной.

Глубже 4—5 м стали в массе встречаться неприкрепленные ко дну красные водоросли филлофора, укрывающие местами всю поверхность заиленного песка или ила ковром до 10 см толщиной. В этом естественном укрытии обитало большое количество разнообразных животных: помимо упомянутых ежей стали встречаться звезды нескольких видов, крупные морские черви, похожие на распустившиеся цветы, стоящие на высоких стеблях, оранжевые и коричневые морские огурцы, крупные моллюски, размером, формой и окраской напоминающие лимон, асцидии как огромные коричневые мешки с двумя отверстиями, через которые они процеживают воду, и т.д. Вся эта масса донных организмов питается тем, что падает на них сверху из толщи воды, а также разлагающимися водорослями, лежащими на дне.

Глубже 10 м стали попадаться крупные валуны. Все они обрастали разнообразными животными, превращаясь в своеобразные «клумбы». Обитатели таких агрегаций явно получали преимущество перед своими собратьями, лежащими просто на грунте, — им доставалось больше падаю-

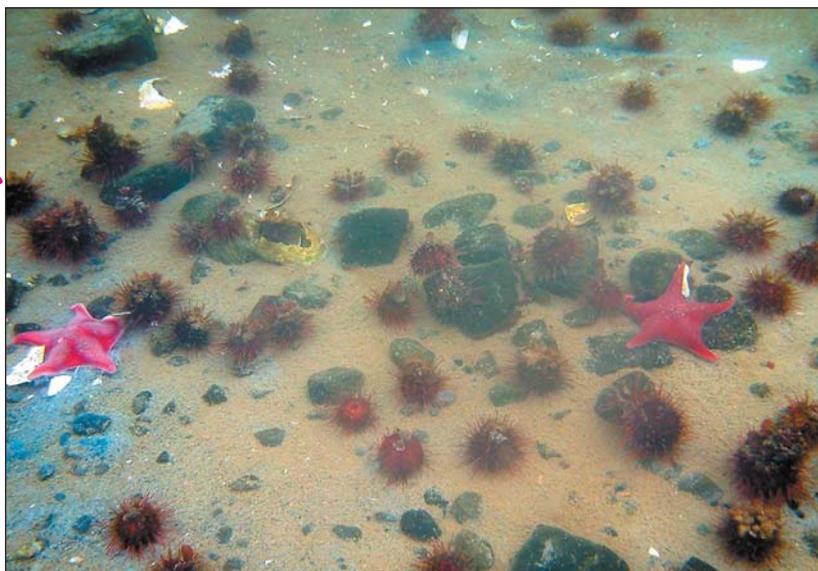


Подготовка к погружению. Здесь и далее фото В.Л.Джуриного

щей пищи. Нередко можно было наблюдать голотурий, прикрепленных к трубкам седентарных полихет. Создавалось ощущение, что ради пищи животные утратили инстинкт самосохранения либо в биоценозе отсутствуют хищники, хотя хищных



Начало погружения.



«Мягкий ковер» иглами наружу — типичный биоценоз мелководья. Глубина 4—6 м.

животных, по нашему мнению, вокруг было достаточно. Во всяком случае, нам нигде прежде не приходилось сталкиваться с такой «безрассудной храбростью» среди беспозвоночных, как в Антарктике.

Разумеется, наша задача состояла не только в наблюдении за подводным миром, но и во взятии количественных и качественных проб и фотографировании. Количественные пробы мы отбирали с помощью дно-

черпателя с площадью захвата 0.05 м². Крупных и редко встречающихся животных мы собирали отдельно в специальную сетку, опоясывающую аквалангиста.

В результате на 14 станциях было выполнено четыре морских гидробиологических разреза (два — в фьорде Нелла, один — в открытой части залива Прюдс за китайской станцией и один в бухте Восточной у станции «Прогресс») и два — в пресноводных озерах Прогресс и Степед. Всего собрано более 70 количественных и качественных проб макробентоса, более 20 проб мейобентоса, 14 проб зоопланктона и 12 проб фитопланктона.

Нельзя было не заметить разительной бедности инфауны (зарывающихся в грунт животных) в сравнении с эпифауной (обитающих на поверхности грунта). Это явление, по-видимому, объясняется бедностью органики в донных осадках. Богато развитая эпифауна пожирает значительную часть падающей пищи.



Подледная «клумба» — сообщество полихет, голотурий и морских звезд на валуне. Глубина 16—18 м.

Здесь и далее фото С.Ю.Гагаева

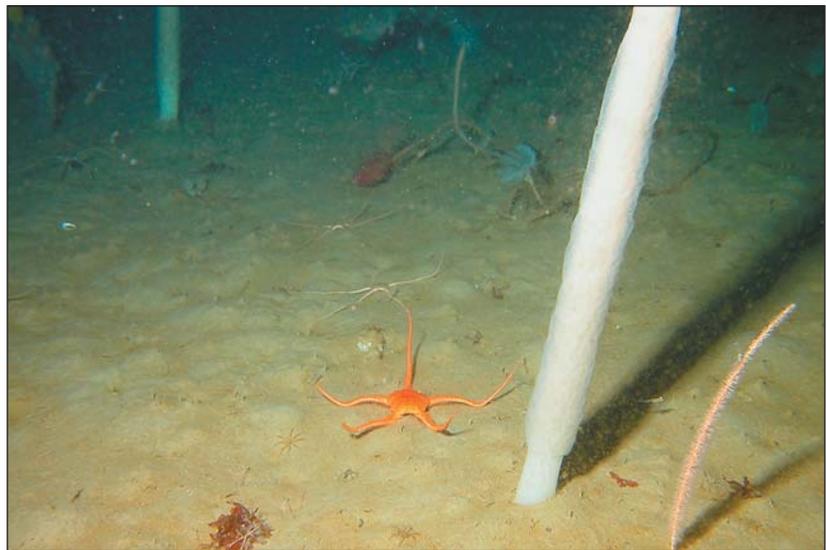


«Аленький цветочек» Антарктиды — полихета с сидящими на ее трубке голотуриями. Глубина 10 м.

Предварительные результаты обработки макробентосных проб показали относительно высокое биоразнообразие в исследованных участках акватории у станции «Прогресс», где обитает более 200 видов морского макробентоса. Особенно большое видовое разнообразие отмечено для иглокожих, моллюсков, губок, кишечнополостных, асцидий и ракообразных. Несколько видов, собранных в заливе, оказались, по-видимому, новыми для науки и будут в ближайшее время описаны. Впервые отмечается закономерность в распределении мелководных сообществ в антарктических водах. Она заключается в том, что, несмотря на различный состав грунтов, в большинстве изученных участков на глубинах от 2 до 20–25 м доминирует одно и то же сообщество красных водорослей *Phyllophora antarctica* и морских ежей *Sterechinus neumayeri*. Только на заиленном песке к этим двум доминирующим видам добавляется третий — двустворчатый моллюск *Laternula elliptica*. Биомасса бентоса в изученных участках на глубинах от 3 до 30 м колеблется от 1611 до 5290 г/м², что характерно для высокопродуктивных областей Мирового океана. Анализ распределения морских бентосных сообществ выявил слабо выраженную поясность.

На каждом из трех полных гидробиологических разрезов выявлена смена донных сообществ в зависимости от глубины. На глубинах до 2 м на всех разрезах не обнаружены ни макрофлора, ни макрофауна. Это обусловлено истирающим действием льда и наличием здесь в летнее время талой воды.

Различные модификации донного сообщества, основу которого, напомним, составляют красные водоросли и морские ежи, расположены на глубинах от 3 м до 25 м. Глубже начинается иной биоценоз, в котором преобладают различные асцидии. Переход от одного к другому сообществу постепен,



«При свечах», асцидия *Distaplia cylindrical*, змеехвостка и горгонария. Глубина 43 м.



Двустворчатый моллюск *Laternula elliptica*.

Фото Б.И.Сиренко

нен, «размыт». Так, руководящий в глубоководном (от 30 м до предельно обследованных 43 м) сообществе вид — трехметровая асцидия *Distaplia cylindrical*, похожая на стеариновую свечу, — иногда попадался нам и на глубине около 17 м в фьорде Нелла.

За период исследований (с 21 декабря 2006 г. по 15 января 2007 г.) мы провели под во-

дой в общей сложности более 45 ч на глубинах от 3 до 42 м. Все погружения прошли без эксцессов, не считая встречи на 30-метровой глубине с полутора-метровый рыбой, которая, пройдя близко от водолаза, мгновенно исчезла. Тюлени Уэдделла, довольно часто посещавшие наши майны из любопытства, особых хлопот нам не доставляли. ■

Террасное земледелие в Нагорном Дагестане

М.А.Агларов

Первое и единственное сравнение террасного земледелия в Нагорном Дагестане с мировыми образцами принадлежит Н.И.Вавилову, который в 30-х годах прошлого века отметил в статье, опубликованной в журнале «Природа», что, как в Перу и Боливии, здесь «можно видеть интенсивную террасную культуру, идеальное использование для культуры рельефа гор, максимальное использование каждой пяди земли для земледелия. <...> В Дагестане, около Ботлиха... изумительное террасное земледелие, расположенное многими десятками этажей, применительно к рельефу — огромными амфитеатрами. Вряд ли можно лучше использовать землю, чем это делают в Дагестане» [1].

Террасирование полей — культурный феномен мирового масштаба, возникший, по мнению известных специалистов Дж.Спенсера и Г.Хейла, в 4—3 тысячелетии до н.э. на Восточном Средиземноморье (Йемен, Ливан) и далее распространившийся в Закавказье и Дагестан, а затем — по миру [2]. Правда, существует точка зрения, что террасная культура Юго-Восточной Азии имеет самостоятельные корни [3], что, впрочем, не меняет картину гигантского преобразования ландшафтов, повлекшего за собой становление более высоких форм общественной организации и систем управления.



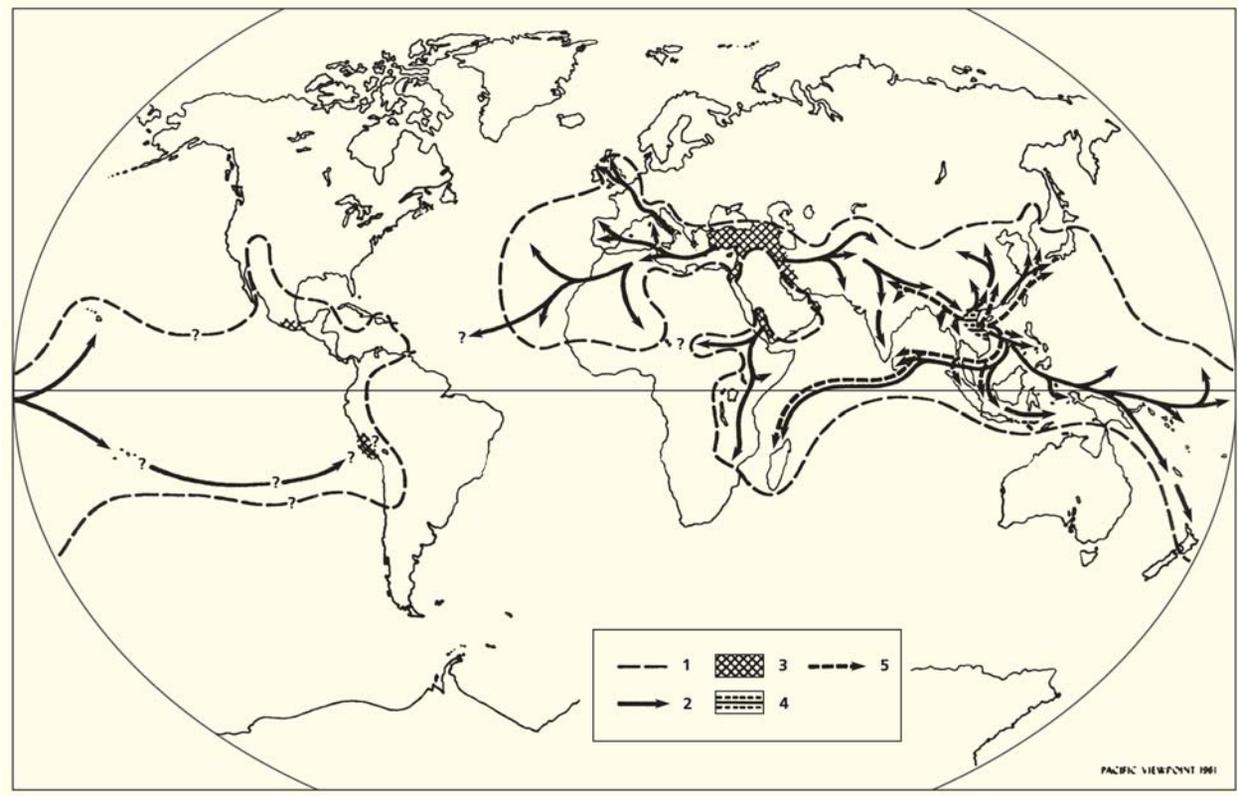
Мамайхан Агларович Агларов, доктор исторических наук, профессор, главный научный сотрудник Института истории, археологии и этнографии Дагестанского научного центра РАН (Махачкала). Заслуженный деятель науки Республики Дагестан и Российской Федерации. Область научных интересов — историко-этнографические исследования Кавказа, культурология.

Великая система террасной агрикультуры опоясывает земной шар, образуя концентрированные очаги гигантских лестниц в Ливане, Йемене, на Филиппинах, в Сычуане (Китай), уже упомянутых странах Латинской Америки и т.д. К этому ряду очагов относится и Нагорный Дагестан. Террасирование полей в этой части Кавказа приняло такой размах, что общие площади выровненных участков достигли десятков тысяч гектаров [4].

Древнее интенсивное земледелие можно разделить на террасные системы, которые обслуживаются (орошаются и т.д.) местными источниками или левыми водами и *ограниченными* коллективами (конкретные поля — семейными группами). Напротив, древние «гидравлические» культуры Двуречья и Египта формируются при орошении огромных пространств централизованной ирригационной сетью. Отсюда и центра-

лизованная иерархия управления и самих обществ.

Уже упомянутый географ, профессор Калифорнийского университета Дж.Спенсер заметил, что из всех известных следов деятельности человека на земной поверхности террасирование полей — наиболее глубокий и обширный, даже по сравнению с тем, что составляет инфраструктуру городов. Но тем не менее именно этот след остался вне поля зрения специалистов [2]. Террасирование трансформирует естественные очертания склонов, видоизменяет профили гор, меняет русла, улучшает почвы, нейтрализует и противодействует циклам эрозии, задерживая контролируемое количество почв. При виде террасированных склонов гор один из путешественников справедливо записал: «повсюду человек обрабатывает почву, а здесь он ее создает, повсюду итог — урожай, а здесь — почва» [5].



Первоначальные центры и дисперсия террасных технологий (по Дж.Спенсеру и Г.Хейлу [2]). 1 — границы распространения агрикультурного террасирования на земном шаре, 2 — дисперсия первичных террасных технологий, 3 — регион происхождения террасной культуры, 4 — регионы происхождения технологий затопляемых (wet-field) «рисовых» террас, 5 — распространение затопляемых террас.

Кроме того, террасированные склоны «заново формируются» разрушенный ими же склон в виде полос межевых откосов-экранов, на которых растет трава. Наряду с концентрацией влаги эти экраны служат постоянным источником обновления почв на горизонтальной поверхности террасы и делают более устойчивым фитоценоз на всем пространстве, занятом полями. Соответственно, можно себе представить, что террасное земледелие — прочный запас агрономического ресурса планеты. Еще один, может быть, самый важный агрономический эффект террасирования — получение ежегодных урожаев без залежи, перелога и других экстенсивных форм земледелия; т.е. террасное земледелие — это интенсивная форма горного земледелия.

Аграрная перенаселенность в древности, ставшая в свое время одним из условий для террасирования горных склонов, в свою очередь предопределила рост и скопление населения в очагах террасного земледелия. Так, на о.Мадуро (Индонезия), к примеру, в 1930 г. проживало более 300 человек на 1 км² [6]. А сочетанием этой системы в Дагестане со стойлово-пастбищным и отгонным скотоводством можно объяснить, что в царстве Сарир (VI в.) «было 12000 селений и городов» и что правитель Сарира (Авария) должен был доставить в зернохранилища ал-Баба (Дербента) 100 тыс. мер (муд) зерна, Туман — 25 тыс., Зирехгеран (Кубачи и окрестные районы) — 10 тыс. мер, Шандан — 5 тыс. и Лакз — 20 тыс. мер ежегодно. Все эти раннесредневековые

политические образования были расположены в пределах Горного Дагестана.

Кроме того, важнейшим следствием поливного и богарного (сухого) террасирования был переход террасных полей в собственность созидавших и обрабатывающих их семей. Это повлекло за собой коренные перемены в аграрных и социальных отношениях обществ, практиковавших данную систему земледелия как основной способ производства. Террасное поле стало не только объектом приложения труда, но и его продуктом.

Никогда не повторяющиеся одно другого ни по размерам площи, ни по степени плодородия террасные поля различаются, что самое важное, и по количеству труда, затраченного на их возведение или формирование. И, наконец, террасная сис-



Садовые террасы «ахал» в окрестностях с.Игали. 2006 г.
Здесь и далее фото М.А.Агларова



Террасный пейзаж в окрестностях Айнакаб (Акушинский р-н). Представлены «откосные» террасы второго типа. 2006 г.

тема в своей начальной истории предполагала не коллективный, а семейный (парцеллярный) труд — отсюда переход полей в их собственность. Поэтому террасная система разрушает первобытно-коллективные начала в землевладении (впрочем, для крупнейших мировых центров этот процесс реконструируется лишь теоретически). Однако после перехода от экстенсив-

ных форм к террасному становление частной собственности на землю неизбежно происходит и в современности [7].

В Дагестане представлены в основном два типа террас: на подпорных стенах и без подпорных стен, место которых занимают межевые откосы. У лакцев эти откосы-экраны называются «гъанна», у аварцев — «хъон», у андийцев — «шоннор» и т.д.

Террасы двух типов

Террасы на подпорных стенах (первый тип) более всего распространены по садоводческим речным долинам Дагестана (Арканы, Гоцатль, Ботлих и др.). Эти гигантские каменные лестницы на склонах гор производили неизгладимое впечатление. Вот один из восторженных отзывов, написанный в первой половине XIX в.: «...лезгины своим искусством, терпением и упорством сумели добиться богатства у своей неплодородной земли, богатства, которое она прячет под кажущейся непроницаемой корой скал и камнями... эти террасы обрабатываются как нельзя более заботливо и прилежно, их края обнесены фруктовыми деревьями и виноградом. Действительно, можно лишь удивляться искусству, с которым этот народ... сумел превратить неприветливые скалы своей страны в цветущие сады» [8].

Спустившись в 1885 г. из Анди в Ботлих, венгерский ученый М.Дечи увидел похожую картину: «в противоположность скалистому окружению, сам Ботлих лежит среди цветущих фруктовых садов, полей и лугов, затененный стройными липами, — настоящий оазис среди каменного ландшафта Северного Дагестана» [9]. Возможно, именно эти поля, расположенные огромными амфитеатрами, имел в виду и сирийский автор V в. Захарий Митиленский, который при описании «пределов Даду» (Дагестана) выделяет его жителей как оседлое население с земледельческой культурой, которую они защищают системой фортификационных сооружений. При виде гигантских лестниц террасных систем неизбежно создается впечатление, что подобное творение под силу лишь древним единоподержавным рабовладельческим государствам с их огромными людскими ресурсами и возможностями организации для такого строительства. Именно так расценивают в литературе великое творение на склонах ла-



Окрестности Мехельты с высоты птичьего полета. 2006 г.

тиноамериканских гор. Трудно сказать достоверно, в какое время созданы террасные постройки, но определенно империя инков провела гигантские работы по их содержанию [10].

Второй тип террасы — без подпорных стен, который иногда называют откосным, больше распространен в предгорьях и по нагорным районам Южного Дагестана (Левашинское, Акушинское, Хунзахское плато), во впадинах — Казикумухской, Андийской и Гунибской, а также на не очень крутых склонах гор вокруг Караты, Согратля, Хуштады, т.е. почти повсеместно на высоте до 2 тыс. м над ур.м. (Тануси, гора Азал и район оз.Алхар) и т.д. В Западном Дагестане склоновое (не террасное) земледелие встречается у дидойцев и тляротинских аварцев.

При всем видимом эффекте, производимом каменными лестницами террас на подпорных

стенах, представленном и в других мировых центрах (к примеру, в Йемене), подлинное преобразование ландшафта и его глубинная трансформация — за террасами второго типа.

Если террасированные поля на подпорных стенах выглядят как гигантские лестницы, вырубленные в склонах гор, то откосные террасы — это как «уложенные» горизонтально обширные поверхности горных склонов. Земледельческий ландшафт из полей на межевых откосах — целиком искусственный. Былую естественную растительность (особенно на Левашинском, Акушинском, Хунзахском плато) трудно представить даже с помощью отдельных сохранившихся участков. Вершины небольших гор или холмы целиком снесены, глубина разработки некоторых полей достигает местами до 100 м, площадь искусственного террасного поля — 1–2 га [11].

Этот вид террас, занимающий площади в десятки тысяч гектаров, на Восточном Кавказе доминирует. Он распространен и в нагорьях Армении (очень выразительны в этом отношении окрестности Арни). «Откосных» террас в Дагестане долго не замечали, не допуская мысли, что это следствие земледельческой деятельности человека. В первом пособии по географии Дагестана написано, что это «лестницы речных террас, сопровождающие иногда долины горных рек» [12]. Именно как естественные террасы они и вошли в первый опыт типологии террас.

Формирование террасного поля

Приемы обработки горных склонов, в конечном счете приводившие к формированию террасного поля, вероятно, за-



Земледельческие террасы в долине р.Усиша (Акушинский р-н). 2008 г.

Фото Х.А.Амирханова

имствовались горцами друг у друга еще в древности. Они доступны изучению благодаря тому, что сохранились и поныне. Участок склона горы, который предполагается отнести под поле, сначала освобождают от дерна мотыгами или лопатками. В этом году ничего не сеют — трава и корни перевернутого дерна должны перегнить. В следующем — участок вспахивают, начиная по точно очерченной нижней границе предполагаемого в будущем террасного поля. Вспашка идет поперек склона (в древнейший, допашенный период поле обрабатывали мотыгой). По достижении конца борозды из нее плуг вытаскивают, быков поворачивают назад, и вторую борозду проводят почти по первой, но в противоположном направлении. Первые пять-шесть борозд проводят так плотно друг к другу, что на склоне образовывалось подобие небольшого горизонтального валика, слегка возвышающегося над поверхностью земли (это закладка будущей межи — откоса или «травянистого склона»).

Затем скошенную поверхность склона продолжают вспахивать до условной верхней границы. Это пахотное, но еще не террасное поле. (Таковым оно станет через сотни лет!) Ежегодная, а то и несколько раз в год проводимая вспашка дает смещение почвенного покрова вниз по склону на расстояние нескольких сантиметров ежегодно (в зависимости от глубины вспашки и крутизны склона). Каждый раз плотно пропахивали уже имеющуюся завоеванную горизонтальную полосу и по несколько раз подряд — стык горизонтальной площадки со склоном. Пропашка этой линии у аварцев получила специальное название, употребляемое при пахоте — «ракъан бахъи», что значит в приближенном переводе «снятие конца». Точно так же поступают на боковых концах, где заканчивается борозда, и быков поворачивают в обрат-

ном направлении. Пропашка края с расчетом сформировать по краю террасы бровку, способствующую задержанию влаги и почвы, называют «рагал бахъи» (снятие края)*. Пропашка боковых концов в андийском языке имеет название «анга бухир» (снятие «ветки»). Склоны гор, один, а то и два раза в год вспахиваемые под пашни, через длительное время, вероятно, исчисляемое столетиями, ложатся горизонтально. Более интенсивные специальные усилия создания горизонтальной площади на склоне горы не привели бы к должному успеху, ибо перемещению подверглись бы материковые слои, а не почва. Поэтому земледельцы в борьбе за создание полей были сдерживаемы причинами, непосредственно связанными с процессами почвообразования на горных склонах.

Предлагаемая здесь картина постепенного формирования полей с межевыми откосами подтверждается не только стратегией распределения почвенного слоя на террасах,

* Аварское выражение, состоящее из слов «рагал-ракъан бахъи», происхождение которого связано с террасированием полей, стало идиомой, часто употребляемой, чтобы сказать, что какое-либо дело сделано основательно, безупречно, или чтобы сказать: «вникнуть в суть дела».

но и тем фактом, что такое поле не нуждается в искусственном нанесении почв, т.е. террасу не сооружают, вкапывая ее в материковые слои склона с нарушением почвенного покрытия. Можно добавить и то, что «межевой откос-экран», обрамляющий поле, принадлежит владельцу террасы как бывшая часть склона, которая ранее обрабатывалась вместе с выровненной частью пашни. И наоборот, в первом типе террас, сооруженных единовременными усилиями, каменные подпорные стены как части конструкции полей — собственность владельцев верхнего ряда террас, чьи поля они подпирают.

Агрономические преимущества террасного земледелия использовались столь интенсивно, что в нагорной части практиковали трехъярусные посадки (одновременно кукуруза, бобовые и бахчевые), землей пользовались ежегодно, без перелога и залежи, восстанавливая плодородие унаваживанием, обновлением почв, частыми пропашками и полным уничтожением сорняков. В селекции отмечено около 50 разновидностей ячменя, эндемичные сорта льна, бобовых, твердые и мягкие пшеницы, среди которых дагестанским эндемиком, как это установил Вавилов, является пшени-

ца, известная как «персидская». Около 10 культурных сортов винограда, абрикоса и других плодовых выращивались на орошаемых террасных полях плоскодонных горных долин зоны Хиндалала. Высокая плотность населения горных районов, около 40—50 человек на 1 км², делало продукты земледелия недостаточными для ее поддержания, тем более что в рационе питания земледельческие продукты занимали первейшее место. Достаточно сказать, что понятие «еда» в языках народов Дагестана имеет в виду только мучные изделия. Мясо-молочные и иные продукты, «дандеж» на аварском языке, переводится не как еда, а как то, «с чем едят». Именно интенсивное террасное земледелие было причиной такой высокой плотности населения в горах, что исключительно даже для таких плотно освоенных гор, как Кавказ. Благодаря археологическим раскопкам террасное земледелие в Дагестане зафиксировано еще в эпоху средней бронзы (2-е тысячелетие до н.э.). Это время может быть, как полагает Х.Амирханов [13], еще более ранним, поскольку дагестанский очаг террасного земледелия входит в регион, откуда распространились террасные технологии на Восток и Запад. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-06-80-341-а.

Литература

1. Вавилов Н.И. Мировой опыт земледельческого освоения высокогорий // Природа. 1936. №2. С.80.
2. Spenser J.E., Hale G.A. // Pacific Viewpoint. 1962. V.2. №1. P.1—3.
3. Wheatly P. // Pacific Viewpoint. 1965. V.6. №1. С.143.
4. Вавилов Н.И. Мировые ресурсы зерновых культур и льна. М.; Л., 1957. С.132.
5. Urqubart D. The Lebanon (Mount Syria). A History and a Diary. L., 1860. V.1. P.1.
6. Гурь П. Азия. М., 1956. С.66—67.
7. Маретина С.А. // Народы Азии и Африки. 1971. №6. С.52—53.
8. Bodenstädt F. Die Völker des Kaukasus und ihre Freiheitskämpfe gegen die Russen. Bd.1. Berlin, 1985. С.303.
9. Dechy Moris von. Kaukasus. Berlin, 1906. Bd.2. S.185.
10. Vajkai Z. Ancient agricultural terracing in Peru // Acta Ethnographica. T.XXIX. Budapest, 1980. С.110.
11. Никольская З.А., Шиллинг Е.М. Горное пахотное орудие террасовых полей Дагестана. 1952. СЭ. №4.
12. Добрынин Б.Ф. География Дагестанской АССР. Махачкала, 1926. С.88.
13. Амирханов Х.А. Начало земледелия в Дагестане // Природа. 1983. №2. С.58.

Между Сциллой и Харибдой

К 100-летию Мессинской катастрофы

Автор преследовал только одну цель: дать ясное представление о землетрясениях на примере Мессинской катастрофы, по обилию жертв вызвавшей сочувствие к Италии всего культурного мира.

К.И.Богданович. Землетрясения в Мессине и Сан-Франциско. СПб., 1909. С.111.

А.А.Никонов

Шила и Чарриджа

Первый раз я увидел Мессинский пролив... ночью. Правда, безоблачной, но совершенно темной южной ночью. Самолет летел над Калабрией (п-ов на Южной Италии) так, что видны были оба берега пролива. Нет, конечно, не сами берега, но гирлянды опоясывающих огней. Две четкие светлые линии. Не узнать местности внизу было невозможно: линии точно повторяли памятные контуры географической карты — между о.Сицилией и Аппенинским п-овом. Покой и умиротворение внизу чувствовались даже с высоты. Но для меня там, внизу, в глубокой тьме тысячелетий, плыли аргонавты, там Одиссей, преследуемый проклятиями своего отца — бога Посейдона, потерял часть спутников и сам вместе с кораблем едва не погиб в пучине. И тогда ... Тогда мы ничего не узнали бы о его плавании, о коварстве местных природных сил. А они, согласно преданиям, таковы, что даже сам Посейдон не в силах спасти человека, попавшего между Сциллой и Харибдой.

Сцилла — высокая скала на калабрийском берегу, у подножия которой множество выемок (пещер). Благодаря обвалу крутых стенок, их разрывов и образованию проходов даже при небольшом волнении моря стоит глухой гул, слышимый на значительном удалении. На сицилий-



Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — геотектоника, палеосейсмология, природные опасности, современные движения земной коры. Постоянный автор «Природы».

ском же берегу, около могущественной Харибды, при сильных ветрах не один корабль втягивался в водоворот, терпел крушение или тонул из-за огромности волн, так же как у Сциллы [1].

Быть в Сицилии, тем более в Мессине, и не попытаться стать «между Сциллой и Харибдой» мне представлялось непозволительным промахом. Я попытался объяснить свое стремление итальянским коллегам. Они не понимали. Все остальное в моем примитивном английском понимали, а это — никак. Напрасно я повторял четко и раздельно: Сцилла и Харибда. Раз за разом стараясь выговорить знакомые с детства слова все четче и четче. Никакого эффекта. Я был в тупике. Наконец, примерно после пятого моего усилия Эммануэле воскликнул: «Шила и Чарриджа!»

Есть контакт!

Сели в машину. До Чарриджа было всего-то меньше часа пути.

Шила — на другом берегу Мессинского пролива. Я надеялся, взобравшись на Чарриджу, увидеть оттуда и утес Шилы. Признаюсь, ощущал некоторое волнение и предвкушал острое впечатление, ведь мы приближались не просто к скальным утесам, как я их себе представлял, но к овечьим легендами седой и классической древности, воплощенными в гомеровском эпосе. Машина неслась по плоской приморской равнине вдоль берега сужающегося залива... Ожидание нарастало. Вскоре Эммануэле остановил машину.

— Вот! Объявил он, если не торжественно, то, во всяком случае, удовлетворенно.

Та же плоская равнина, только моря больше вокруг. Тоже плоского, мирного. Ничего гомеровского. Никаких страстей. Противоположный берег казался слабо возвышенным, но не скалистым. Никакой Чарриджи. Да и Шилы не видно. Я был в полном недоумении. Эммануэ-



Сицилия и Калабрия. Коричневая полоса внизу — след извержения вулкана Этна. Космический снимок.

ле уверял, что мы приехали именно туда, куда я стремился. Я не мог ему не верить — мы действительно находились на самой северо-восточной оконечности Сицилии, на мысе Пеларо, ближе всего к калабрийскому берегу. Мессинский пролив имеет длину 30–40 км при ширине до 22 км. Но здесь, в самом узком месте, его берега разделяет водная полоса шириной всего 3,5 км. Где-то тут на мысу еще в начале XIX в. виднелись остатки зданий, обломки колонн, куски мрамора и даже мозаики, принадлежавшие по преданию храму Нептуна.

И вот именно здесь, под жаркими лучами сицилийского солнца волшебные замки растворились. Сказка исчезла. О Гомере пришлось временно забыть. Перечитал его только по возвращении домой.



Северо-восточный выступ о. Сицилия с мысом Пеларо.

Фото автора

*«...Вдруг я увидел
Дым и волненья великого шум повсеместный услышал.
Выпали весла из рук у гребцов уstraшенных; повиснув
Праздно, они по волнам, колыхавшим их, бились; а судно
Стало, понеже не двигались весла, его принуждавшие к бегу».*

*«В страхе великом тогда проходили мы тесным проливом,
Скилла грозила с одной стороны, а с другой пожирала
Жадно Харибда соленую влагу: когда извергались
Воды из чрева ее, как в котле, на огне раскаленном,
С свистом кипели они, клокоча и буровясь; и пена
Вихрем взлетала на обе вершины утесов; когда же
Волны соленого моря обратно глотала Харибда,
Внутренность вся открывалась ее: перед зевом ужасно
Волны шибились, а в недрах утробы открыто кипели
Тина и черный песок. Мы, объятые ужасом бледным,
В трепете очи свои на грозящую гибель вперяли».*

Homer. Odissea. XII, 201—259. Перевод В.А.Жуковского

Чтобы по-настоящему понять гомеровский текст, не обойтись без сведений авторов гораздо более поздней, классической эпохи. Вот, например, что писал Диодор Сицилийский в I в. до н.э.: «Древние мифографы рассказывают, что раньше Сицилия была полуостровом, а затем стала островом по следующей причине. В наиболее узкой части перешеек заливало с обеих сторон море, которое и «разорвало» его, почему это место и получило название Регий [рубевж, граница — АН.], которое было дано затем основанному много лет спустя городу Реджио. Некоторые рассказывают, что вследствие сильных землетрясений перешеек был разрушен, образовался пролив, и море, таким образом, отделило от материка остров» [2]. Ага, «вследствие сильных землетрясений!» Можно ли было в этом сомневаться. Изменения рельефа, такие как опускание суши на метры и десятки метров в тектонически активных областях (Южная Италия — куда активнее?), согласно макросейсмической шкале, происходят при сейсмических событиях интенсивностью XI—XII баллов. Приняв это во внимание, вернемся к рассказу Одиссея.

Скилла (Сцилла) сначала не проявляла никаких признаков

не только агрессии, но и вообще жизни. Лишь «волненья великого шум повсеместный услышал». Но что такое шум волнения? Шумом моря опытных мореплавателей не уstrашить. Это не волнение моря, не удары волн о прибрежные скалы. Этот «шум повсеместный» — подземный, подводный грохот. Волны колыхали опущенные уstrашенными гребцами весла. И «судно стало», так что герой смог его «обежать», ободрить каждого, дать инструкцию кормчему. Значит, вначале ничего особенного с кораблем не происходило. Одиссей еще успел напрасно утомить глаза, стараясь выискать жадную Скиллу «в глубоком недрах утеса». Значит, корабль находился в зоне видимости скалы или вблизи нее.

И вот только после этого все и началось. Но сначала опасность пришла вовсе не от Скиллы, а от Харибды. Она поразила спутников Одиссея тем, что жадно пожирала море, а потом воды извергались из ее чрева, кипели как в котле, «клокоча и буровясь». Ясно, что у западного берега пролива огромные массы воды высоко вздымались и падали на большую глубину. Амплитуда должна была составить многие метры.

А что же Скилла? Она все еще таилась? Нет, расвирипела и она. Шестерых своих товарищей Одиссей успел только «руки и ноги вверху над своей головой мельком приметить». «Так трепетали они в высоте, унесенные жадною Скиллой». «Там, перед входом пещеры она сожрала их, кричащих громко...». А вот откровение Одиссея в финале эпизода звучит так: «Страшное тут я очами узрел, и страшней ничего мне зреть никогда в продолжение странствий моих не случалось».

Воистину, такие ужасные моретрясения и цунами природа преподносит людям разве что однажды в сотни, если не в тысячи лет. Однако расшифровать злоключения Одиссея в современных реалиях и понятиях нетрудно. Но не будем спешить, мы еще вспомним Гомера несколько позже.

Катастрофа 1908 года

Землетрясение 28 декабря 1908 г в Южной Италии памятно во многих отношениях, прежде всего огромным числом жертв, разрушением городов Мессина и Реджио-ди-Калабрия и десятков поселков, колоссальными убытками. Для специалиста по природным катастрофам наиболее важно совместное с гибельными последствиями воздействия собственно землетрясения, вызванного им цунами, пожаров, а также соотношение очага со сложной тектонической структурой Мессинского пролива и геодинамический аспект события. Интересна также параллель с древними преданиями и гомеровским текстом. Ибо это тот несчастный случай, когда гармонии мифа и стиха можно попытаться поверить с помощью геофизики и геологии.

За столетие итальянские и других стран исследователи собрали множество фактов, определили основные параметры землетрясения и цунами, выделили главные черты события



Мессина. Вверху — до землетрясения 1908 г.; внизу — после.

Фото из городского архива



Набережная Мессины после землетрясения. По столбам освещения видно, что улица опустилась в море на несколько метров. Акварель 1909 г. Художник Дж.Кавальере.

и ведущие проблемы. Количество специальных публикаций составляет ныне многие десятки, если не сотни. Но все же... и спустя сто лет вопросы остаются и исследования продолжаются. Мы можем здесь обратить внимание лишь на некоторые аспекты этого выдающегося и многогранного природного феномена.

В Италии с богатой традицией сейсмологических исследований сразу после катастрофы появилось несколько научных публикаций по горячим следам, а затем и крупные обобщения М.Баратта и Дж.Риццо. Последний (в то время директор Мессинской обсерватории, сейсмические приборы которой смогли зафиксировать только начальную фазу землетрясения прежде чем вышли из строя) обратился к записям 110 сейсмических станций в разных частях земного шара на эпицентральных расстояниях до 18 тыс. км [3, 4]. Но на станциях стояли разные типы сейсмографов, с разными характеристиками, чувствительностью и способностью гасить колебания, и адекватная интерпретация оказа-

лась или невозможной, или неполной. К тому же скорости прохождения сейсмических волн в разных средах тогда были плохо известны.

Тем не менее Риццо, Баратта и их коллега Дж.Меркалли, исследовавшие последствия на берегах, довольно определенно характеризовали событие. В частности, они пришли к заключению о расположении эпицентра на дне Мессинского пролива. «Концы в воду». Но где именно, на какой глубине, в какой структурно-динамической обстановке возник очаг и как в пространственно-временных координатах развивался — вот вопросы, без ответа на которые землетрясение не может считаться изученным. Ныне принимаются следующие параметры главного толчка Мессинского события: интенсивность X или XI баллов, магнитуда $7.2 (\pm 0.2)$, глубина 10 км. Что касается положения эпицентра, то даже в новейших исследованиях оно определяется различно: то вблизи г.Мессины, то на калабрийском берегу, севернее г.Реджио. При этом соотношение с конкретными сейсмогенерирующими разло-

мами остается неопределенным. Попытаться вытащить «концы» из воды можно, обратившись к свидетельствам очевидцев в самом проливе и на берегах.

Но действительно ли для современников важно выяснение деталей события?

«Не представляет интереса для науки»

В сводках и базовых монографиях Мессинское землетрясение сравнительно редко рассматривается как явление геологическое, геодинамическое. Известный сейсмолог XIX в. Ф.Монтессю-де-Баллор считал, что «о нем можно было бы умолчать». Ему вторил Пьер Руссо: «...оно не представляет никакого интереса для науки» [5. С.58]. Можно назвать две причины такого заблуждения. Во-первых, небольшая площадь разрушительных сотрясений — в виде овала с осями 30×20 км, вытянутого в северо-восточном направлении. Во-вторых, нахождение эпицентра и очага под водами Мессинского пролива. Оба эти обстоятельства ставили и ставят перед сейсмологами трудноразрешимые вопросы, но уж никак не низводят событие до уровня не представляющего интереса.

И это хорошо поняли, надо отдать им должное, специалисты из России. Не успели покинуть Мессину русские военные моряки, сразу организовавшие спасательную операцию в городе, как там появились два сейсмолога из Петербурга — профессор К.И.Богданович и его ассистент Д.И.Мушкетов (позднее также профессор). Сразу после катастрофы Мессина была объявлена на осадном положении, так что никто из геологов, даже итальянских, в первое, самое важное для изучения последствий стихийных бедствий время, попасть туда не мог. Богданович и Мушкетов прибыли в Мессину на 20-й день после землетрясения. Кроме них толь-

ко Риццо уже собирал сведения в самом городе.

По результатам собственного обследования Богданович пришел к выводу, что причины сильных разрушений в приморской части Мессины не столько в силе сотрясений, сколько в слабых грунтах, возведении зданий на развалинах от дальнего землетрясения 1783 г. и в исключительно плохом качестве строительства [6]. Большинство импозантных зданий города было бездумно выстроено из речных камней, кирпичей, цементированных богатым песком известковым раствором. Внутренне выглядывшие, но непрочные каменные фасады служили лишь прикрытием. Тут было что изучать и чему учиться.

Что и как происходило в проливе

По показаниям очевидцев, землетрясение началось в морской глубине. Вот свидетельство капитана парохода, следовавшего ранним утром злополучного дня через пролив из Мессины в Реджио: «...море вдруг стало бурным, хотя погода оставалась тихой; казалось, что вся поверхность моря разверзается, и что в глубине открылась какая-то пропасть, куда устремилась вся вода. В одно мгновение пароход коснулся морского дна, а затем был подброшен волной вверх». «Коснулся дна» на глубинах свыше 100 м — это почти наверняка иллюзия, обычная при моретрясениях. Но падение судна в водную пропасть и последующее подбрасывание вверх, т.е. моментальное колебание с амплитудой в несколько метров, факт сам по себе весьма показательный. Он означает, что судно проходило практически непосредственно над сместителем одного из сбросов, т.е. над очагом землетрясения. Скорее всего, корабль находился в относительной близости к калабрийскому берегу южнее широты

Мессины. Ну чем не описание в современных нам терминах плавание Одиссея в том же месте тремя-четырьмя тысячелетиями раньше? Напрасно многие комментаторы, начиная с римского историка Арриана и вплоть до современных авторов, говорят только о водоворотах между Сциллой и Харибдой. Они, без сомнения, существуют и древним мореплавателям доставляли огромные трудности. Но Одиссей попал в настоящее жестокое моретрясение.

С другого корабля, находившегося у калабрийского берега на широте Мессины, машинист рассказывал так: «...около 5 ч 20 мин утра ужасное содрогание морского дна дало такой сильный толчок нашему судну, что все грузы на нем сорвались с мест. Море внезапно вздулось наподобие огромного горного кряжа, рядом с которым, наоборот, как бы опрокинулось внутрь. Слышался глухой грохот. На берегу яростно тряслись огни Сан-Райниери». Опять сильное моретрясение, и сразу вздутие, а рядом провал морской пучины. Почти то же сообщали о начальном поведении моря из прибрежного городка Сан-Джиованни в 10 км севернее: «...морские пучины поднялись так, как если бы их выбро-

сило в воздух подземным взрывом» [7]. Получается, что водный «кряж» и «ров» как синусоида возникли вдоль восточного берега пролива на меридиональном его участке. А форт Сан-Райниери, где «яростно тряслись огни», на западе, на косе, отделяющей гавань Мессины от пролива, т.е. всего в 1.5 км от города.

Еще с одного стоявшего в проливе корабля сообщили следующее: «...мгновение спустя после возмущения водной поверхности удары сотрясли палубу и судовые шлюпки, оторвали спасательные лодки, баки с горючим, выбросили ящики с цитрусомы. Густейшее водяное облако скрыло из виду гибнущий город, и сразу после этого послышались пронзительные, душераздирающие крики о помощи» [8]. Это судно находилось близко к противоположному, сицилийскому берегу, и здесь ощущалось сильное моретрясение.

А в гавани Мессины, всего-то в каких-то 3–5 км, события разворачивались иначе.

Капитан стоявшего на рейде Мессины парохода «Монтебелло» сообщил, что на корабле вдруг почувствовали три удара, затем его стало бросать из стороны в сторону. Моряки на палубе увидели мчавшуюся к бе-



Так изобразил художник XVIII в. землетрясение и цунами в Мессине 1783 г.

регу (в сторону Мессины) громадную водяную стену. Город в то время уже был в развалинах, оттуда поднимались пламя и дым [9, с. 2]. Офицеры миноносца «Саффо» у форта Сан-Райниери (на Мессинской косе) почувствовали сейсмический толчок, только когда увидели, что море вздыбилось и трехметровая «ревущая гора» устремилась на берег. Похоже, что сначала моретрясение произошло на западе, а лишь потом на востоке, отсюда и пошла волна цунами.

Наконец, в самом порту Мессины, по сообщению капитана стоявшего в порту английского корабля, стрелки компаса плясали, волны ударялись о борт и переклестывали через палубу, на морской поверхности образовались впадины глубиной 3–9 м [10].

Еще одному офицеру, наблюдавшему со своего судна, показалось, «что две горы — гора-волна и гора-земля — бросились друг на друга, и земля кинула морю людские жилища. А на гребне горы-волны неслись сорванные с якорей пароходы и суда. Гора-волна обрушилась на землю и покрыла ее. И все то, что было недобито, не доломано землетрясением, было стерто ею с лица земли. И, уходя, она уносила с собой все, что встретила на пути, — и катавшихся по земле и бежавших к морю взрослых, как щепочки подобрала детей, которых родители привели к морю, чтобы спасти их, и дома, и церкви, которые она только что раздавила...» [11. С.297].

Тут уже мы имеем дело с типичным цунами. Оно ринулось на берег после толчка (толчков) тремя волнами, следовавшими одна за другой с интервалами в 15–30 мин. Волны были не очень высокие: 3 м вдоль бульвара Виктора Эммануила и только 2.4 м немного севернее. Вода проникла на 100 м в глубь берега, т.е. до следующей, параллельной набережной, улицы [6].

«На противоположном, калабрийском, берегу волна со всей силой ударила в мост, тот обру-

шился и раздавил, столкнув одно с другим, пришвартованные суда. Южнее волна затопила протестантское кладбище, смыла дом сторожа вместе со спавшими в нем обитателями и унесла в море огромные обломки стены. Даже от мола она оторвала и сдвинула на 20 м цементную глыбу весом в 20 т» [5]. Здесь высота цунами составила 4–10 м (до 11.7), и оно опустошило полосу побережья до 500 м в глубину. Большая сила цунами на восточном берегу неудивительна, если очаг располагался ближе к нему.

Целый ряд фактов не оставляет сомнения в том, что под водой происходили разрывы и крупные смещения дна. Среди них наиболее важные — разрыв нескольких подводных кабелей, в том числе к северу от Реджио [12], резкие вертикальные толчки на кораблях, находившихся в середине пролива, возникновение продольных водных валов и впадин с размахом 5–10 м, после чего к берегам распространялись волны цунами. Косвенными признаками тектонических подвижек на дне пролива можно считать подводный гул и грохот перед первым толчком, бурление моря с выходом на поверхность пузырей воздуха [5], сильные магнитные аномалии при толчках [10]. Кроме того, по результатам повторной высокоточной нивелировки, восточное побережье между Сциллой и г.Реджио осело на несколько десятков сантиметров, а на западном побережье и в самой Мессине — до 70 см (а за счет местного оползания опустилось почти на 2 м). Сопоставляя данные повторного нивелирования и уровнемерные определения на береговых постах, удалось установить, что общее поднятие региона сменилось медленным погружением за 6–5 лет до самого события, а в момент землетрясения моментальное опускание берега пролива составило 0.7 м [13].

А как происходило само землетрясение на берегах пролива?

События на суше

Наиболее полно о ходе событий в Мессине свидетельствует рассказ редактора «Gazette di Messina» Вадаля [7. С.12]. «При страшных раскатах грома [подземного] раздался первый удар. Он был так силен, что я два или три раза был подброшен вверх на 1 м. Машины [печатные станки] тотчас остановились. В течение этих (?) страшных 40 с успели укрыться под один крепкий свод. Вслед за этим комната с машинами провалилась... Придерживаясь стен, мне удалось проскользнуть на улицу... в то время шум валяющихся домов меня совершенно оглушал». Другое важное свидетельство находим в очерке М.В.Мейера, описавшего события на северной окраине города. «Пол под ногами с необычайной силой был поднят вертикально и тотчас же с такою же внезапностью и страшным толчком низринулся обратно. Все были разбужены этим ударом, но особого вреда дому он, казалось, еще не нанес... После первого вертикального удара прошло 45–50 с, обитатели были в смертельном страхе, как вдруг при отвратительном подземном шуме и вое земля пришла в ужасные колебания. Дом, со всем в нем находившимся, встряхивало и двигало туда и сюда. Весь обращенный к морю фасад этого двухэтажного дома обрушился, в то время как другие стены остались. Потолки обрушились только с одной [морской] стороны... В момент второго удара или, наверное, лишь немного секунд спустя, с моря накатилась на берег громадная волна» [14. С.150].

То же самое подтверждается показаниями и других переживших землетрясение мессинцев. Кроме того, они указывают на колебательный, горизонтальный характер последовавших движений. Первый толчок — «ужасной силы», а последовавшие далее один за другим с короткими промежутками — «не-

сколько меньшей силы» [15, 16]. Но именно они-то и привели к обрушению зданий.

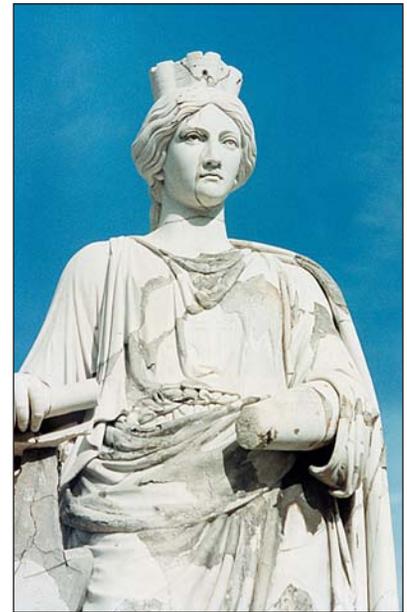
В течение первых 30–45 с произошло три удара. Первый (по-видимому, самый сильный) и второй, несомненно, были вертикальными (в Мессине), между тем последующие движения отмечались как волнообразные [6]. Обрушение домов началось после первых, вертикальных толчков, когда они сменились горизонтальными [3, 7]. По обрушенным частям домов и деформациям, направление горизонтальных, разрушающих колебаний в городе определено как ССВ–ЮЮЗ, т.е. продольно по отношению к западному берегу Мессинского пролива [6]. Все это дает основание заключить, что сначала активизировался разлом (разломы) ССВ простирания у западного берега Мессинского пролива, причем вертикальные смещения быстро сменились горизонтальными сдвиговыми, вероятно, левосторонними.

Подтверждение такой кинематики можно видеть в соответствующей вытянутости изосейсты максимальных сотрясений на северо-восточном берегу Сицилии [3]. Фактически (как это отмечал еще Богданович в 1909 г. и подтверждается моими наблюдениями в 1996–1997 гг.), зона наибольших разрушений вблизи Мессины вытянута вдоль берега полосой шириной не более 1 км, не захватывающей предгорий. При этом длину вспоровшегося разрыва можно оценить примерно в 7 км.

А вот как запомнил очевидец начало землетрясения в г.Реджио, на противоположном берегу пролива. «В 5 1/2 утра я был разбужен сильным толчком и выброшен из постели. Почва подо мной колебалась. Пол провалился, крыша рушилась. Я упал из верхнего этажа в нижний. Кругом меня были развалины. Последовал новый удар, так что стоявшие еще здания рухнули, и я упал на землю. Когда забрезжил рассвет, каждые четверть

часа возникал новый удар. Очередной удар разрушил церковь Санта-Лючия. Море вдали от берега имело обычный вид. Старая крепость рухнула, только здания нового квартала на самом высоком месте уцелели» [15]. Из сопоставления этих и других сведений можно вывести следующее. Первый толчок имел в Реджио силу не менее VIII–IX баллов. После, как и в Мессине, происходили горизонтальные движения. И именно с ними, опять-таки, как и в Мессине, связано обрушение строений. Новый удар, силой не менее VII–VIII баллов, и с перерывом (когда рассвело) следующий, вероятно, такой же сильный, можно соотносить с зафиксированными толчками в 5 ч 27 мин 40 с и в 5 ч 54 мин 27 с местного времени [17]. Макросейсмические данные из Мессины показывают сходную картину и позволяют считать, что первый толчок и последующие (горизонтальные) колебания там были значительно сильнее.

Дело в том, что в Реджио, как и на кораблях в проливе, перед землетрясением отмечали сильный рев моря (гул под водой?) и значительное поднятие его уровня, тогда как в Мессине после грозных подземных раскатов и толчков волна цунами из



Мраморная статуя (Минервы?) на площади перед муниципалитетом г. Мессины. В результате землетрясения была сильно повреждена. Хорошо видно, что она восстановлена из многочисленных обломков. 1997 г.

Фото автора

центральной (или восточной) части пролива подошла к городу, когда рушились здания [18. С.2]. Это означает, что породившее цунами разрывообразование под проливом возникло



Трещины и просадка на набережной Мессины [6].

раньше, во всяком случае до горизонтальных колебаний, спустя 30—45 с после вертикального толчка в Мессине.

Вопрос о локализации эпицентров основных толчков принципиально важен с точки зрения сейсмотектоники, механизма очага и последовательности его развития, а в конечном счете и для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска. В некоторых публикациях [17, 19] вопрос решался просто — эпицентры основных афтершоков помещались там же, где и главный толчок. Это, однако, условное решение. На картах изосейст (а их составлено несколько) зоны разной интенсивности показаны как суммарный эффект всех основных толчков с интенсивностью более VII баллов в течение последних чисел декабря и первых чисел января. Но при внимательном рассмотрении исходных материалов на одной из последних карт [20] удалось выделить две области максимальных сотрясений, разделенные узкой полосой с сотрясениями на один-два балла меньше.

На Сицилии зона наибольших разрушений вытянулась узкой полосой именно вдоль берега. В самой Мессине на расстоянии полукилометра от береговой полосы сила землетрясения спадала от X до VIII баллов. Столь мощные сотрясения и столь контрастное затухание обычно наблюдаются именно вдоль разрывов, выходящих к поверхности.

На калабрийском берегу область наибольших разрушений от толчков (не от цунами) вытянута узкой полосой также вдоль береговой линии. И именно вдоль берега, в том числе на прибрежных холмах, возникали крупные вдольбереговые оползни [3, 11, 16]. В пользу самостоятельности очага (субочага) у калабрийского берега можно истолковать и появление «огоньков, бегавших по земле» в одном месте и «горение неба от молний» [11, с. 297].

Для более поздней фазы землетрясения, когда события фиксировались более надежно и дифференцированно, имеются факты в пользу существования самостоятельной очаговой зоны (подзоны) именно у восточного берега. Так, 10 января 1909 г. в 19 ч 24 мин в Реджио ощущали «очень сильный толчок, по силе равный толчку 28 декабря 1908 г., при котором рухнуло несколько поврежденных ранее домов, а среди населения возникла паника» [15]. В то же время в Мессине ощущалось «очень сильное колебание почвы, продолжавшееся 8 с». Оно ощущалось в бараках и прибрежных зданиях, а также чувствовалось на кораблях. Население было сильно встревожено [15]. Из этих двух сообщений ясно, что в Реджио (на восточном берегу) сотрясения оказались существенно сильнее, чем в Мессине (на западном), ориентировочно VII—IX баллов. Отсюда следует, что эпицентр был прибижен к восточному берегу. Ранее же — 2 января вечером — в Мессине произошел удар силой более VII баллов, а севернее Реджио — V—VI баллов, т.е. в этом случае, наоборот, активизировался западный очаг.

Показательно и одновременное возникновение некоторых афтершоков в обоих городах. Сильный афтершок ощущался в Мессине 16 января ночью, а в Реджио — 19 января в 6 ч утра.

Концы все же в воде

Практически с любого возвышенного места города на самом конце знаменитой косы при входе в гавань хорошо видна стела, увенчанная модернистской статуей *Madonna del Porto*. И с любого идущего в гавань корабля можно прочесть латинскую надпись, в переводе на русский означающую: «Вас и Ваш город храню». Но вот пристать к тому месту нельзя.

Это действующий военно-морской форт Италии.

Я помнил о замеченных еще Богдановичем с корабля трещинах в наружных стенах форта. Но увидеть все своими глазами для сейсмолога, специализирующегося по повреждениям древних сооружений, — это совсем другое. Как же проникнуть на военный объект?

Как-то я рассказал о значимости такого обследования профессору Боттари и рекомендовал запросить разрешение у соответствующих военных структур в Риме. Приехав в Мессину в 1996 г., занимаясь по своей программе, совсем не рассчитывая на успех предпринятия. Но вот однажды директор сейсмостанции сообщил: разрешение дано! Жаль, нет места рассказать, как все происходило, да и фотодокументов практически нет — таково было условие посещения.

Трещины сохранились в надводной части форта на внешней стене и в подвальном этаже на западном окончании, что вполне «тянуло» на X баллов. Но еще важнее оказались положение и кинематика трещин. Они были праводвиговыми субмеридиональными и разрывали двухметровой толщины бетон, смещая стенки на 1—2,5 см. Эта совершенно новая информация означала, что речь идет не об осадке грунта под сооружением, а о тектоническом разрывообразовании на поверхности, к тому же в согласии с другими, собранными вне косы данными. Выход трещин к поверхности сквозь покров рыхлых отложений и мощный бетон мог произойти только при неглубоком залегании коренных пород и относительно неглубоком местном очаге. Так удалось развить беглые, но столь важные наблюдения Богдановича почти столетней давности.

Под воду, естественно, я проникнуть не мог, и потому стал глубже проникать в литературу. Подробные и комплексные исследования подводной части



Форт Сан-Сальваторе при входе в гавань Мессины с монументом «Madonna del Porto», возведенным в 30-е годы XX в. Латинская надпись гласит: «Храню Вас и Ваш город». 1997 г.

Фото автора

Мессинского пролива [21], если их суммировать в самой краткой форме, дали следующие результаты. Геологически и морфологически пролив образован двумя разновозрастными грабенами, возникшими при поперечном растяжении Калабро-Пелоританской дуги. Более ранний и крупный грабен ССВ-ЮЮЗ ориентировки ограничен нормальными сбросами и образовался еще до плейстоценового оледенения, т.е. не менее 0.5—1.0 млн лет тому назад. В последующую тектоническую фазу, уже в плейстоцене, скорее всего, около 200 тыс. лет назад, внутри главного грабена возник новый, более узкий. Он состоял из двух главных частей — субширотной на севере и субмеридиональной на юге с линией раздела севернее широты Мессины. С этим вторым грабеном и свя-

зано возникновение пролива между Калабрией и Сицилией.

В то время расширение земной коры на рассматриваемом участке осуществлялось в северо-запад—юго-восточном направлении. Именно с продолжающейся тектонической активностью внутреннего малого грабена есть основания связывать основные сейсмические проявления в историческое время. Это объясняет, в частности, и ограниченные размеры очагов при большой энергии сейсмического излучения. Тщательный анализ колонок донных отложений в проливе показал присутствие в них горизонтов турбидитов толщиной от нескольких сантиметров до 2 м, что позволило сделать вывод о возникновении в регионе нескольких сравнительно сильных землетрясений с интервалом 70—120 лет [21].

Остается определить, с какими именно разломами связывать отдельные события.

Очагов могло быть и три

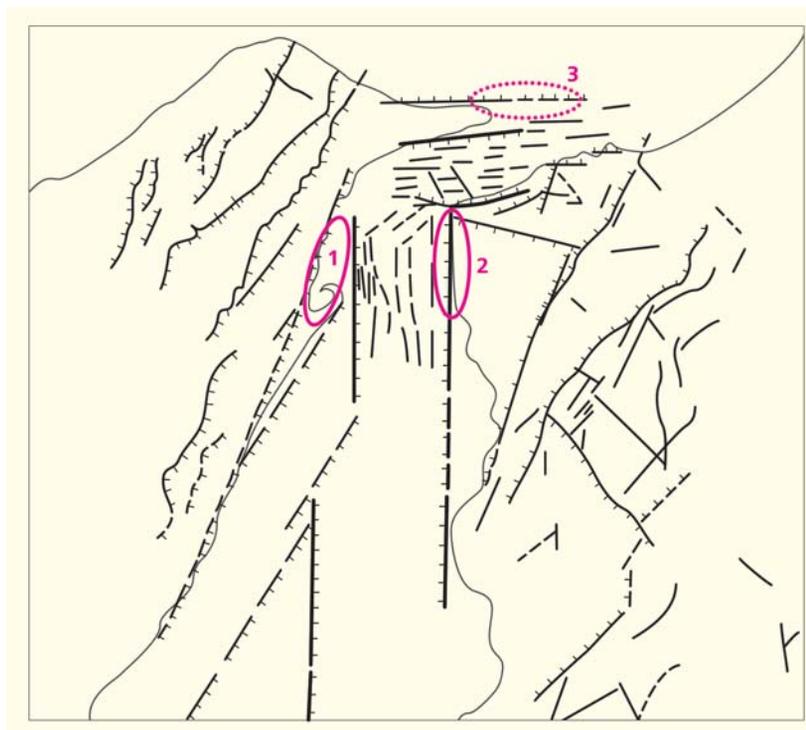
В публикациях итальянских авторов все события 1908 г. в северной части пролива и даже на юге Ионического моря относят к мессинскому очагу. Однако целый ряд признаков позволяет наметить иное решение. Приведем только некоторые из них. Для нашего рассмотрения важны максимальные повреждения построек и, соответственно, максимальное число жертв (помимо Мессины и сильно пострадавшего от последующего цунами Реджио) в северной части береговой зоны пролива (на 10—15 км севернее двух обсуждавшихся выше эпицентральных

ных разломов и молодого широтного грабена [21] дает возможность связать ее с отдельным разрывом (очагом), возникшим вдоль северного берега Сицилии.

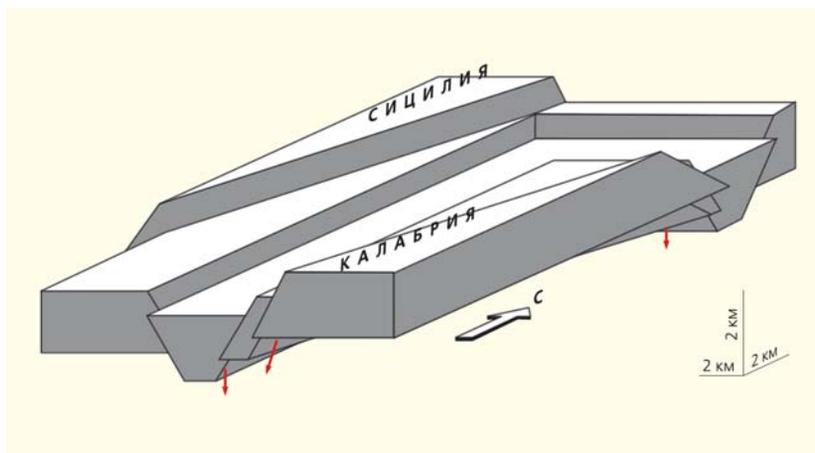
Для подтверждения нашего предположения следует рассмотреть первичные данные о возмущениях моря на севере. Оригинальные сведения содержат записка «Толчки в море» из миланского «Вечернего курьера» от 30 декабря 1908 г. [8, 21]. Следовавшее из Палермо судно «Вашингтон» перед входом в Мессинский пролив попало в сильное моретрясение. Моряки сначала услышали страшный гул (обычно распространяется вблизи эпицентра), затем корабль испытал резкие удары всего корпуса. Он словно попал в спиральную яму, где его положило на борт. В этот момент, длившийся всего 10 с, капитан Рубаудо уже не видел ни огня маяка, ни берега Калабрии, что означает — корабль (вместе с поверхностью моря) «провалился» на несколько метров. Вот оно, подлинное лицо Харибды, пусть даже скрывшей свое скальное тулово под водой, что так меня разочаровало при первой попытке знакомства. Опять вспоминаются водовороты между Сциллой и Харибдой. Но тут не просто водоворот, а глубокая воронка, какие возникают в местах разрывов или резких провалов морского дна.

Во время дальнейшего хода корабля толчки отмечались в 6 ч 05 мин, в 6 ч 40 мин, в 6 ч 45 мин. Но эти толчки не ощущались на суше в районе Мессины и Реджио и не были зарегистрированы инструментально. А на корабле не отметили сильных толчков в 5 ч 47 мин и 5 ч 54 мин. Значит, в двух удаленных друг от друга примерно на 15 км участках сейсмический процесс развивался по разным сценариям.

В 7 ч утра «Вашингтон» накрыло туманом, а в 8 ч 15 мин он вынужден был остановиться в проливе в виду маяка Фаро Су-



Тектоническая схема. Толстыми линиями обозначены основные разломы, ограничивающие ранний меридиональный и поздний широтный (в северной части пролива) грабены. Штрихи направлены к опущенным блокам [21]. Цветом выделены зоны эпицентральных областей. Предполагаемая третья зона показана пунктиром.



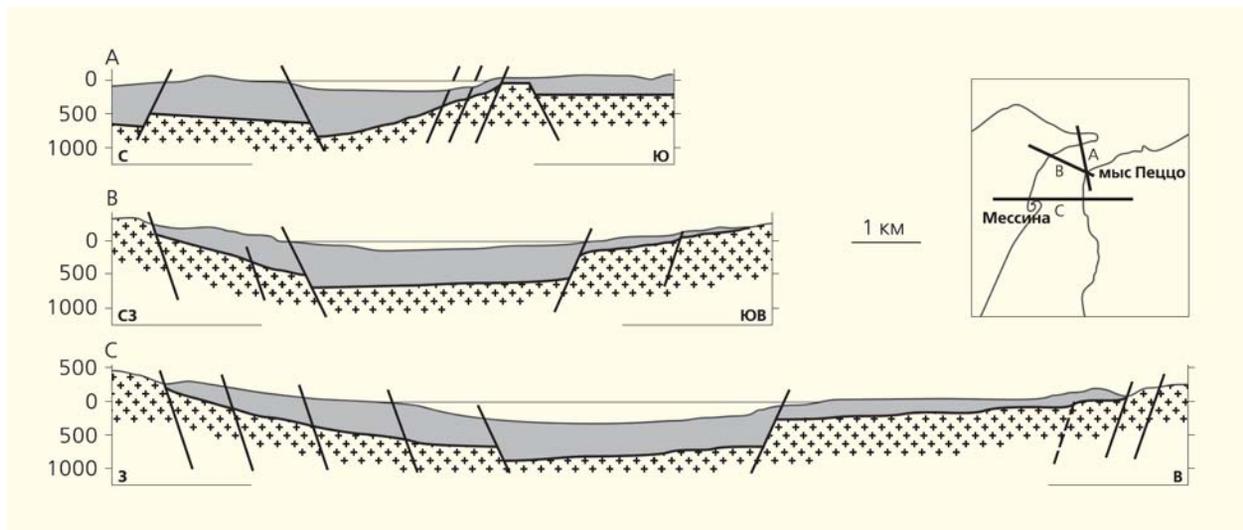
Блок-диаграмма современной структуры района Мессинского пролива [21].

периоре. Пролив оказался забитым обломками, а до того морская поверхность оставалась чистой.

По ряду согласующихся между собой признаков можно считать вероятным возникновение отдельного землетрясения, кото-

рое логично соотносить с оживлением молодого субширотного разлома на северном участке.

Из описания ясно, что моретрясение застало судно «Вашингтон» до входа в пролив и до распространения в нем (собственных) цунами. Коль



Схематические геологические разрезы Мессинского пролива. Метаморфический фундамент обозначен крестиками, осадочный покров показан серым цветом [21].

скоро на глубинах 150–250 м «весь пароход затрясся», он оказался в зоне сотрясений не менее VIII баллов, скорее всего, в эпицентральной области. То, что столь крупный корабль стало «бросать из стороны в сторону», означает, что он попал не в цунами как таковое (в открытом море обычно почти незаметное из-за несоизмеримо большей длины волны), но в зону именно землетрясения над очагом (вблизи его проекции на водную поверхность). При подходе к Мессинскому проливу пароход должен был идти в близширотном направлении, значит, бросать его стало поперек. Действительно, его положило бокком к северу.

Из совместного рассмотрения макросейсмических сведений (в значительной мере оставшихся за рамками этого очерка) выводится такая последовательность основных событий ранним утром 28 декабря. Сначала вспоролась субширотный разлом на севере и субмеридиональный в относительной близости к берегу Калабрии, который и породил главную волну цунами. Упругие напряжения разрядились в обоих очагах в виде вертикальных смещений и толчков так, что

просело дно пролива, вовлекая частично и береговые полосы. Одновременно или сразу вслед за этим на западном берегу снова активизировался продольный разрыв вблизи Мессины в ССВ направлении с горизонтальной (лево)сдвиговой подвижкой, которая, в сущности, и оказалась губельной для города. Вероятно, именно этот второй толчок и последующие колебания «туда-сюда» в направлении ССВ–ЮЮЗ сопровождалась разрывами подчиненного характера.

Все выделяемые по макросейсмическим данным разрывы показаны на тектонических схемах района, но только с ними не связывали сейсмические события 28 декабря 1908 г.

И, пожалуй, наиболее серьезное сейсмологическое подкрепление предлагаемой разработке я обнаружил уже после ее изложения на бумаге, когда открыл заново работы М.Баратта [3], Ф.Мулагрия и Э.Боски [19]. Они, оказывается, еще в начале века выделили три разделенные в пространстве роя афтершоков 1909 г. как раз на намеченных выше ограниченных участках разрывов и очагов (субочагов) трех основных землетрясений 28 декабря 1908 г.

Сверяясь с Гомером

Коль скоро я начал сей очерк с Гомера — а как было поступить иначе? — то следует к нему и вернуться.

Гомеру, само собой разумеется, и в голову не могло прийти, что спустя тысячелетия его эпико-поэтический рассказ может подвергнуться проверке. Немногие спасшиеся в 1908 г. сицилийцы и калабрийцы вряд ли читали и помнили гомеровский эпизод. Так что сравнение можно считать экспериментом, если и не вполне научным, то, по крайней мере, правомочным.

Попробуем рискнуть вернуться на три с лишним тысячи лет назад и оценить интенсивность породившего тогдашнее цунами землетрясения между Скиллой и Харибдой. X баллов. Не меньше.

Но, конечно, есть и весьма существенные различия. Главное из них в том, что Скилла и Харибда вырвали из команды Одиссея шестерых человек, а в 1908 г. лишили Италии 80–100 тыс. жителей, оставили десятки тысяч калеками и сотни тысяч бездомными. Итальянцы пережили этот невообразимый не только для Гомера, но и для цивилизованных народов XX в.

Главные события между Сицилией и Харрибдой

по Гомеру (более 3 тыс. лет назад):	по свидетельствам 1908 г.:
шум повсеместный устрашающий;	общий очень сильный подводный грохот и гул;
извергались волны как в котле, так что пена достигала вершин утесов;	внезапно в проливе вздыбилась стена воды и затем помчалась валом к берегам;
провал водной массы у Харрибды, открывалась пучина вод и внутри «кипели» тина и черный песок;	возникновение водяных «рва» и «хребта с амплитудой в несколько метров, на берега были выброшены глубоководные рыбы, грязь и мусор;
море выбрасывало с корабля людей и уносило их на скалу (к скале) Сицилла.	волны цунами захватывали людей с кораблей и выбрасывали их тела на сушу, погубив до двух тысяч человек.

кошмар, животный, а точнее, смертельный ужас. А свирепая Харрибда не вынесла содеянного и погрузилась в море. Надо думать, навсегда. И что теперь может натворить одна, сильно постаревшая и потрепанная Сицилла?

Восточная Сицилия. Что дальше?

Можно не сомневаться, что в течение следующих 3 тыс. лет Сицилия и Южная Калабрия подвергнутся не одному натиску земной, водной (да и огненной), а значит, и воздушной стихий. Но хорошо бы знать поконкретнее — где и когда?

Соображения на этот счет у меня возникли еще в 90-е годы прошлого века, когда я познакомился, сначала по литературе, с геологическим строением региона, новейшей геодинамикой, расположением основных разломов и развитием сейсмического процесса начиная с XVII в. В сущности, это и послужило мотивом приглашения меня в Мессину коллегами из Сицилии, с которыми познакомился еще ранее в Москве. В первый приезд в Мессину удалось уточнить пространственно-временное распределение сильных событий за историческое время и слабых — за последние десятилетия. Но помимо начатой еще в Москве кабинетной работы, вместе с итальянскими геологами совершил несколько поле-

вых маршрутов, в ходе которых обнаружили признаки очень сильных землетрясений прошлого на северо-восточном и восточном берегах Сицилии. Особенно выразительны они оказались вблизи мыса Тиндари и мыса Таормина, т. е. как раз на концах секущего Северо-Восточную Сицилию разлома СЗ—ЮВ направления. Это были следы заведомо сейсмических разрушений античных сооружений, а также обвалы горных склонов с признаками именно сейсмогенного происхождения. К большому сожалению, задуманный маршрут вдоль разлома ввиду труднодоступности горной местности не состоялся. На сопровождавших меня итальянских коллег — сейсмолога А.Терамо и геолога П.Карвени — особое впечатление произвел археосейсмический подход, ранее им совсем неизвестный. Они настолько прониклись перспективой его применения в Сицилии, что предложили создать и возглавить специальную группу при Мессинском университете, которому тогда подчинялась сейсмическая станция, руководимая профессором А.Боттари.

Перед отъездом, после полутрамесячной работы, я сделал доклад, в котором постарался изложить видение текущей сейсмической ситуации в регионе и осторожно наметить долгосрочные прогнозы (чего в основном и ждали сейсмологи). Мои заключения, которые предлагалось проверить целенаправ-

ленными исследованиями по специальной программе, сводились к следующим положениям.

Развитие сейсмического процесса в виде сильных землетрясений в последние столетия выражалось в последовательной миграции очагов в южном направлении, примерно поперек Калабро-Пелоританской дуги. При этом активно «работал» в основном разлом юго-юго-западного простирания (Мессинский или Мессино—Фуими-Фреддо), частично в местах сочленения с ним субширотных разломов. Землетрясение 1908 г., продолжая тенденцию миграции, произошло в этой же зоне, и потому есть основания полагать, что в дальнейшем очаги сильных событий окажутся еще южнее. Напомним, что зона разрушений 1908 г. простиралась всего на 7—10 км южнее Мессины.

Именно южнее, примерно на широте населенных пунктов Агро и Таормина, разломы «вырезают» в Северо-Восточной Сицилии треугольник с острым углом к югу. Область берегового разлома признается всеми, а вот секущая тело Северо-Восточной Сицилии с СЗ на ЮВ зона, хотя и показана на ряде тектонических схем и карт и хорошо читается на подробной карте [23], учитывается далеко не всегда. Между тем без ее учета искажается вся геодинамическая ситуация, а следовательно, и оценка долговременного сейсмического процесса. И именно у южного острого угла треугольника нам удалось обнаружить следы сильных палеоземлетрясений. В частности, найдены ясные свидетельства сейсмических разрушений такого монументального сооружения, как греческий театр в Таормине. Возможно, это было одно из малоизвестных землетрясений 1230 или 1256 г. в Восточной Сицилии. Несмотря на отсутствие в существующих каталогах сильных событий с эпицентрами на этом участке, есть основание считать его потенциально опасным в долго-

срочной перспективе. Вместе с тем незначительные по масштабам землетрясения после сейсмического кризиса 1908—1909 гг. в Северо-Восточной Сицилии, с учетом исторических сведений о всплесках угрожающей активности с интервалами в несколько сотен лет, не дают оснований ожидать серьезных сейсмических потрясений в регионе в ближайшие десятилетия.

От публикации предварительных разработок я тогда воздержался ввиду перспектив продолжения исследований. Последующие организационно-административные сложности в Мессинском университете не позволили осуществить задуманные планы. Так дело и заглохло. Мне оставалось следить за литературой. В области сейсмологии итальянские специалисты работают много и плодотворно.

И вот пару лет назад я обратил внимание на статью незнакомых мне авторов под обещающим названием «Возможное сейсмическое окно в пределах высокосейсмичного пояса, пересекающего Калабрию и Восточную Сицилию» [24]. На основе сейсмических, геологических и геодинамических данных авторы пришли к заключению о поддвиге плиты Ионического моря по крутой зоне разломов под западную Калабрийскую плиту (зона разломов Мессина—Фумифреддо). Авторы, хотя и воздерживаются от определенного вывода, уверенно выделяют участок 30 км протяженности севернее Этны как заслуживающий специального внимания. Интервал повторения сильных ($M \geq 7$) землетрясений вдоль этой зоны они определяют в 1000 лет. Фактически, они

приходят к тому же выводу, что прозвучал в моем докладе в Мессине в конце 90-х годов. Только авторы обсуждаемой статьи не знали о следах палеоземлетрясений там, в том числе и послеримского времени, и не принимали во внимание разлом ЮЮВ направления, образующий острый, расположенный к югу (и потому сейсмически опасный в условиях общего субмеридионального сжатия) угол с главным разломом Мессина—Фумифреддо.

Так что в это потенциально опасное «окно» специалистам надо не просто заглянуть, но изучить открывающийся вид пристально всеми доступными способами. Благо времени до очередного сильного события, похоже, достаточно. Сцилле в одиночестве стало труднее творить свои безобразия. ■

Литература

1. Scylla und Charybdis // *Annalen der Berg- und Hütten kunde* (Moll). Zweiter Band. Salzburg, 1803. S.195—196.
2. Диодор Сицилийский (I в. до н.э.). Историческая библиотека. Кн.IV—VII. Греческая мифология. СПб., 2005.
3. Baratta M. La catastrofe sismica Calabro Messinese (28 dicembre 1908). Roma, 1910.
4. Woodworth J.B. // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1911. V.1. P.86—87.
5. Руссо П. Землетрясения. М., 1966.
6. Богданович К.И. Землетрясения в Мессине и Сан-Франциско. СПб., 1909.
7. Годзишевский Л.Ф. Сицилия и ее землетрясения. М., 1909.
8. Corriera della Sera. Milano, 30 XII 1908.
9. Прибалтийский край. Рига. Суббота, 02.01. 1909. С.2.
10. Дэвис Л. Природные катастрофы. Т.1. Смоленск, 1997.
11. Елматьевский С. За границей. СПб., 1910.
12. Platania G. Il maremoto dello stretto di Messina del 28 dicembre 1908. Modena, 1909.
13. Bottari A., Carveni P., Lo Giudice E., Nikonov A.A., Rasa R. // *Tectonophysics*. 1992. V.202. P.269—275.
14. Горький М., Мейер В. Землетрясение в Калабрии и Сицилии. СПб., 1909.
15. Биржевые ведомости. СПб., Декабрь 1908, январь 1909 г.
16. Константин К. Землетрясение в Сицилии и Калабрии. Рассказ очевидца. М., 1909.
17. Tinti S., Vittori T., Mulargia F. // *Tectonophysics*. 1987. №138. P.159—178.
18. Revaler Beobachter. 24 XII 1908. №300. P.2.
19. Mulargia F., Boschi E. The 1908 Messina earthquake and Related Seismicity // *Proceed. of the Intern. School of Physics «Enrico Fermi». Course LXXXV. Earthquakes observation. Theory and Interpretation.* Amsterdam, 1983. P.493—518.
20. Bottari A., Carapezza E., Carapezza M. et al. The 1908 Messina strait earthquake in the regional geostructural framework. Catania, 1984.
21. Selli R., Colantoni P., Fabbri A. et al. // *Giornale di Geologia*. Ser.2. V.XLII. Fasc. II. Bologna, 1978—1979. P.1—70. Plates 1—22.
22. Pirotta C., Guarnieri P., Barbano M.S. et al. // *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Abstract Book.* Zurich, 2006. P.31.
23. Lentini F., Carbone S., Catalano S. et al. Schema Geologico-strutturale della Sicilia nord-orientale. Scala 1:100 000. 1998.
24. Neri G., Oliva G., Orecchio B., Presti D. // *Bull. of the Seismological Society of America*. 2006. V.96. №4A. P.1231—1331.

«Пещерный город» Бакла

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

Юго-западная горная часть Крымского п-ова представляет собой необыкновенно интересный историко-географический комплекс. Плодородные долины и возвышающиеся над ними скальные массивы, годные как для укрытия в случае опасности, так и для выпаса скота, с незапамятных времен привлекали людей. Сюда, сменяя, а подчас и соседствуя друг с другом, распространяли свое влияние Византийская империя, Тюркский и Хазарский каганаты, печенег и половцы, Золотая Орда и Крымское ханство. Жившие здесь народы оставляли о себе память в виде руин сельских поселений, городов и крепостей. Среди памятников бурной и яркой истории крымского Средневековья заметное место занимают все еще слабо исследованные археологами уникальные «пещерные города». Они цепью на много километров протянулись вдоль Внутренней гряды Крымских гор — от среднего течения р.Альмы до устья р.Черной. Уже при первом знакомстве в глаза бросаются их общие особенности: в различной степени выраженная природная неприступность и наличие (наряду с остатками наземных построек) искусственных пещер, вырубленных в обрывистых склонах. Непривычный для глаз европейских ученых и путешественников XVIII—XIX вв. внешний вид этих сооружений в скалах породил множество противоречивых, подчас фантастических предположений об их происхождении. Термин «пещерные города» появился для



Окрестности «пещерного города» Бакла.

Здесь и далее фото М.К.Грачевой, А.А.Шубина и К.Ю.Шахова

обозначения указанной группы памятников скальной архитектуры в XIX в. Данное словосочетание обычно берется в кавычки, так как его буквальное содержание не в полной мере отвечает историческому смыслу. Дело в том, что люди, населявшие такие города, жили не только и не столько в пещерах, пусть даже весьма искусно созданных в податливых горных породах, но и в наземных усадьбах. Руины этих помещений, давно оставленных жителями, ныне почти незаметны. Они покрылись почвенным слоем, поросли густым кустарником и деревьями. Пещеры же, хотя и потеряли свой первозданный вид, сохранились гораздо лучше, создавая иллюзию особого пристрастия бывших обитателей к жизни в них. Дале-

ко не все эти поселения можно считать действительно городами. Лишь самые крупные из них (площадь уникального по размерам «пещерного города» Мангупа достигала 90 га!) и только на отдельных этапах своего существования действительно превращались в торгово-ремесленные центры и административные резиденции. Другие же были только крепостями-убежищами или же мирными монастырями, в которых скальные кельи подчас составляли весь «жилой фонд». Следует отметить, что «пещерные города» не являются уникальными крымскими объектами. Они известны на Ближнем Востоке и в Малой Азии, Китае и Средней Азии, на Кавказе, на Балканах и в ряде других регионов [1].

© Комаров В.Н., 2008



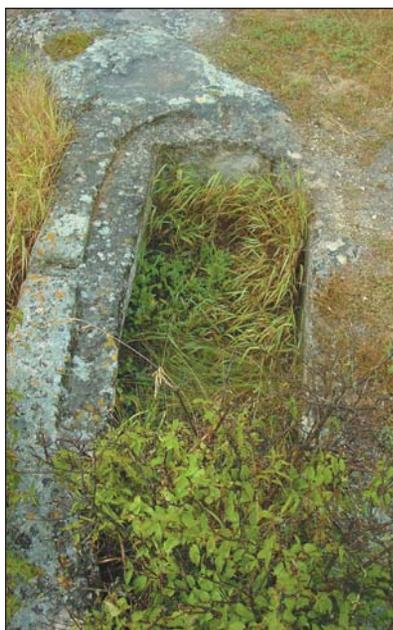
«Пещерный город» Бакла.

Один из наименее изученных крымских «пещерных городов» — Бакла — самый северный из подобного рода объектов. Небольшие археологические разведки здесь проводили А.И.Маркевич, Н.Л.Эрнст, Е.В.Веймарн. С 1961 по 1981 г. на поселении

работали экспедиции под руководством Д.Л.Талиса и В.Е.Рудакова. С 1981 г. систематические исследования Баклы, по сути дела, прекратились.

Городище Бакла, что в переводе с тюркского означает «фасоль», расположено примерно

в 2,5 км к юго-востоку от села Скалистое Бахчисарайского района. Оно находится на высоте около 400 м над ур.м. на плоской, треугольной в плане, террасе у подножья горы Бакла. С запада и востока терраса ограничена известняковыми гряда-



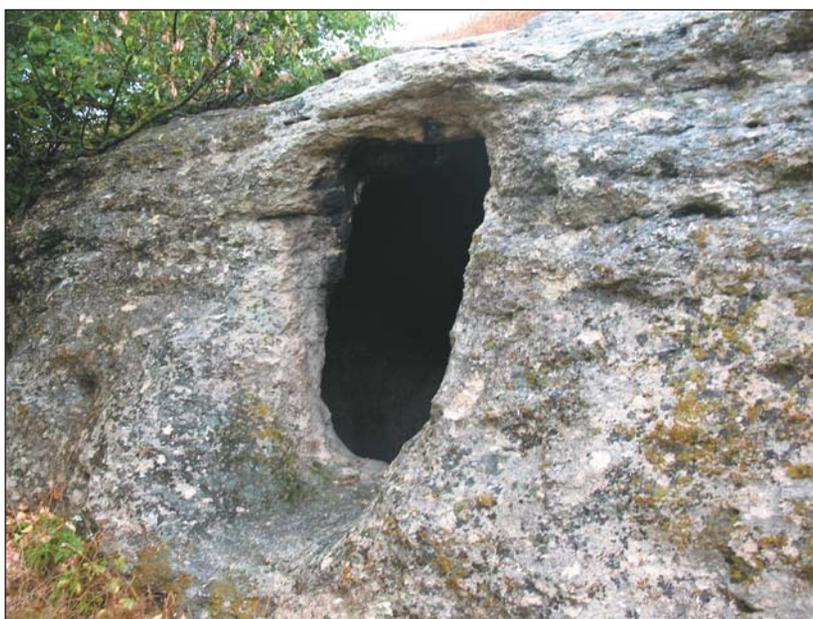
Вырубленные в скалах сооружения чрезвычайно разнообразны.

ми, а с юга — обрывом плато высотой от 5 до 15 м, самой природой превращенным в труднопреодолимое фортификационное сооружение. От Скалистого до Баклы среди кустарника и мелколесья идет живописная теневая тропа, постепенно поднимающаяся по крутому склону. Если пройти по ней, то вскоре среди скал можно увидеть первые, вырубленные в известняке пещеры. Еще немного, и тропа приведет на плато площадью около 1 га. Довольно далеко отступив от его края к северу, высятся второй, сглаженный наподобие гигантского вала, ярус обрывов с пещерами.

Городище представлено цитаделью и примыкающим к ней ремесленно-хозяйственным поселением (посадом). Цитадель была ядром городища и сейчас хорошо выделяется на скальном уступе. Она вытянута вдоль обрыва полосой шириной около 60 м и длиной до 200 м. Ее стены состоят из двух панцирей, сложенных из массивных, хорошо обтесанных блоков известняка, которые устанавливались на предварительно подтесанную выровненную скалу. Защитная линия, возможно, также проходила по краю обрыва, на расстоянии 8 м от него. В северном углу укрепления, на стыке двух куртин*, на расстоянии 25 м от обрыва находилась прямоугольная надвратная башня размерами 6×7,5 м. Еще одна башня или боевая площадка с парапетом сооружена на юго-восточном фланге боевых стен.

На северо-восточном участке цитадели обнаружено очень интересное сооружение — глубоко врезанный в камне тоннель, представляющий собой проход под боевой стеной, который вел из цитадели в посад [2]. Довольно широкий (3,5×5 м) при входе, он, постепенно сужаясь, попадал на узкую и длинную

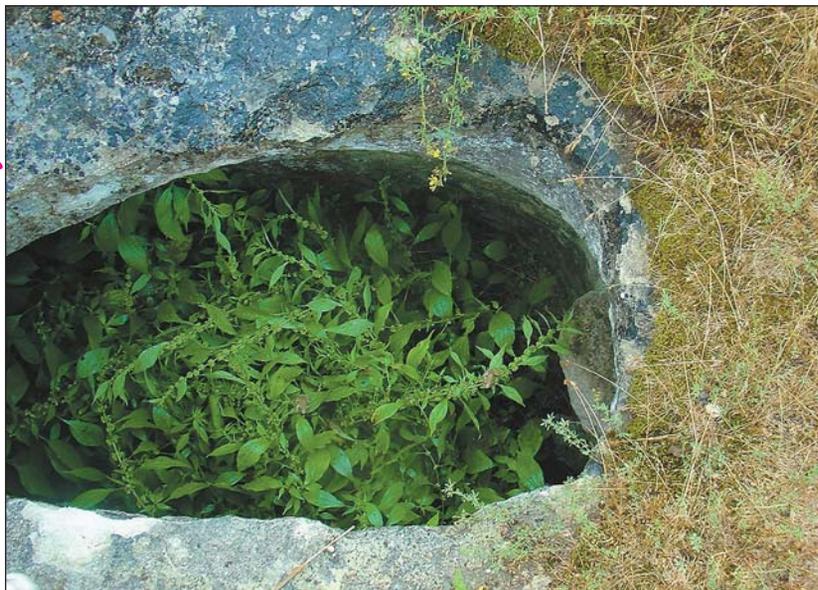
* Куртина в фортификации — участок крепостной ограды, обычно прямолинейного начертания, соединяющий обращенные друг к другу части двух соседних бастионов.



Пещеры в известняках.

площадку метра на три ниже скалы с цитаделью. Площадка, ограниченная обрывом, вероятно, служила боевой позицией. Здесь, скорее всего, находилось караульное помещение. С площадки вверх в цитадель можно попасть через узкий проход в скале с четырьмя ступенями. Под западным участком цитадели располагались боевые пещеры. В них вели люки или высеченные в скале лестницы. Здесь несли дозор, отсюда вели фланговый обстрел неприятеля.

На протяжении своей истории цитадель как минимум три раза подвергалась разрушениям и серьезным перестройкам. Первый раз она пострадала в 80-х годах VI в. (по другим источникам, во второй половине VII — начале VIII в.). В середине IX в. стены укрепления реконструировали и усилили: параллельно существующей линии в 30—40 см построили еще одну, а промежуток между ними заполнили забутовкой. Была утолщена и башня. Следующее разрушение цитаде-



Зерновые ямы.



ли произошло в середине XI в. Ее стены снова отремонтированы. По крайней мере, в XII—XIII вв. территорию цитадели плотно застроили жилыми компактными усадьбами городско-го типа. Здесь найдены остатки двух домов. Один из них располагался в центре, имел два этажа и насчитывал восемь помещений. Вероятно, это была резиденция местного феодального правителя Баклы и ее ближайших окрестностей. Нижний нежилой этаж углублен в скалу, на поверхности которой сохранились вырубki для деревянных столбов и сосудов. Недалеко размещалась и часовня с прилегающим к ней небольшим плитовым могильником.

Посад был плотно застроен. Жилые дома сооружались из камня. Как правило двухэтажные, они состояли из двух-четырёх помещений. Основания некоторых стен в жилищах вырублены в скале. Дома примыкали друг к другу или разделялись улицами и переулками. Во время археологических раскопок были выявлены остатки нескольких таких наземных построек, поставленных на более ранние фундаменты, с кладовыми, в которых находились боль-

шие (высотой до 2 м) глиняные сосуды (пифосы) XII—XIII вв. В них местные жители хранили зерно, вино, воду. Во время раскопок в крепости и на поселении найдены многочисленные орудия труда: зубатки, кирки, топоры, мотыжки. Обнаружено также секира-кайло (двойное орудие), которое обычно применялось на сельскохозяйственных работах в горно-лесистой местности.

Одна из главных достопримечательностей поселения — внутрискальные сооружения. Их здесь известно более 90. Там хранили запасы продовольствия, содержали скот. Об этом красноречиво говорят многочисленные вырубki: углубления для установки пифосов, высеченные кольцообразные отверстия для привязывания скота, корытообразные ясли. Во многих местах возле пещер снаружи выдолблены в скале желоба для отвода сточных вод. По краям обрыва над пещерами группами расположены высеченные в скале зернохранилища в виде веретенообразных или колоколообразных ям, горловины которых аккуратно опоясаны желобком, чтобы внутрь не подтекала вода. Обнаружены резервуары для

сбора воды и виноградадави-ни-тарапаны с емкостями для стока сусла, а также погребаль-ные и культовые пещеры.

На Бакле и в ее окрестностях выявлено восемь христианских культовых комплексов, в основном X—XIII вв. Пещерная часовня и наземный храм, составлявшие кульгово-погребальный комплекс, обнаружены в 500 м к западу от городища. На нижней террасе находилась церковь с погребальными сооружениями, а наверху — часовня. Сначала на террасе устраивали скальные склепы. В X—XI вв. возвели наземный храм, вокруг которого стали захоронять в плитовых могилах. В конце XI—XIII вв. на верхней террасе вырубili скальную часовню. Вероятно, в то же время появились и расположенные ниже пещерные усыпальницы. В часовню с северо-запада вел высеченный в скале изогнутый коридор длиной 2.3 м, шириной 1.3 м, высотой 1.6 м. Дверь в часовню открывалась внутрь. Помещение в плане имело овальную форму размером 4.4×2.85 м и высотой 2.3 м. В юго-западной стене было вырублено амбразурное окно прямоугольной формы со скругленными углами, из которого очень



Вид южных окрестностей Баклы с каменного «истукана».

хорошо виден другой «пещерный город» — Тепе-Кермен. В средней части северо-западной стены на высоте 1.6 м от пола высечен крест. К сожалению, сейчас о часовне — интереснейшем памятнике скального зодчества — приходится говорить в прошедшем времени. Весной 1998 г. скальный выступ, в котором она была вырублена, обрушился по существовавшей здесь трещине и упал в долину.

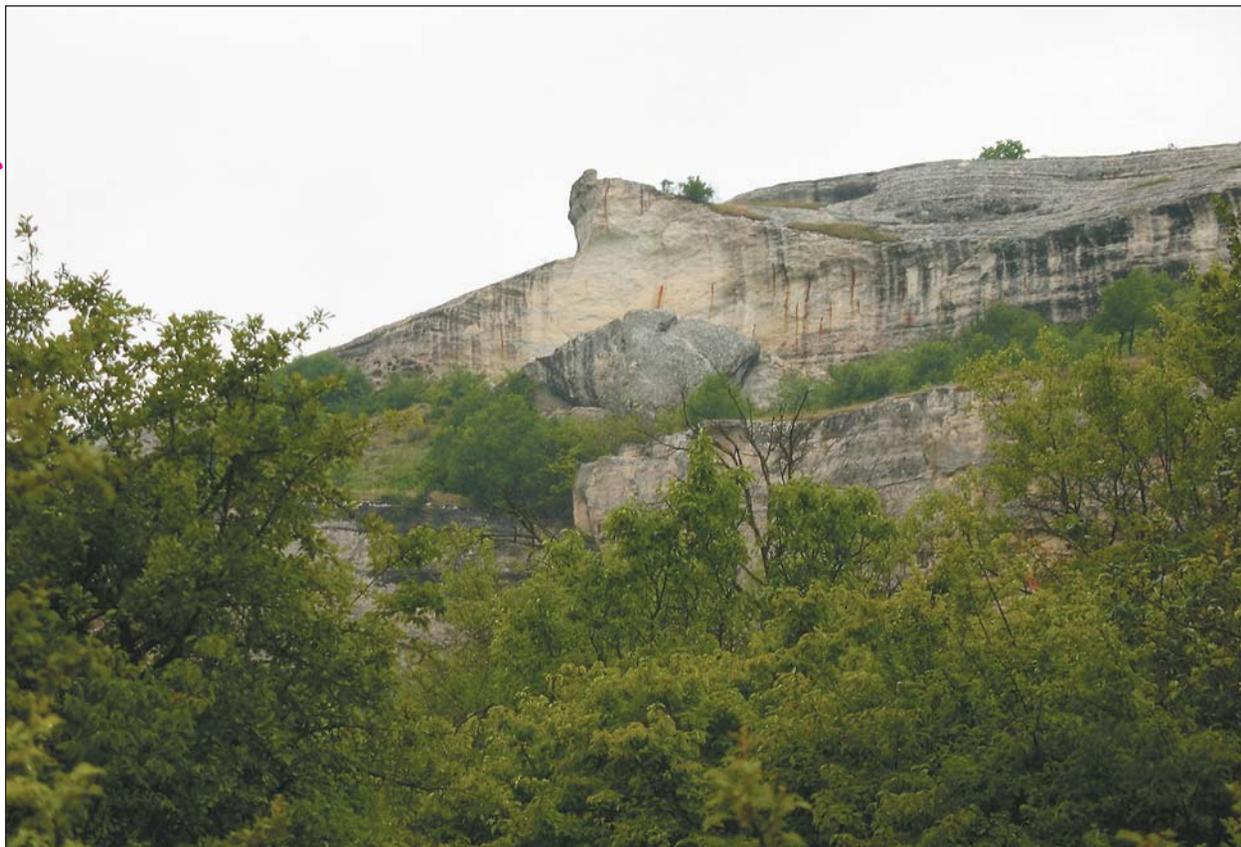
Южнее Баклинского городища на склонах оврага находится раннесредневековый могильник: глубоко вырытые в земле склепы с семейными захоронениями и одиночные грунтовые могилы [3]. Примерно в 600 м к югу от Баклы в долине расположены остатки трех храмов [3]. Один из них построен над погребальным склепом, выложенным хорошо обтесанными каменными плитами. На них со-

хранились процарапанные изображения людей, всадников, знаки тюркского письма.

На распаханых полях в междуречье Альмы и Бодрака, в долине, расстилающейся под Баклой, встречаются многочисленные обломки глиняной посуды и целые пифосы VIII—IX вв. Жители сельской округи Баклы занимались земледелием, скотоводством, виноградарством и виноделием. Ремесла носили домашний характер. Вся керамика, выявленная раскопками, резко делится на две группы: гончарную и лепную, выполненную в домашних условиях, без применения гончарного круга [3]. На берегу р.Бодрак около села Трудолюбовка раскопаны печи для обжига керамики — настоящий гончарный центр. Однако поселение вблизи него не найдено. Вероятно, гончары работали сезонно и жили там вре-

менно, рядом с водой и пригодными для гончарного производства глинами. Изготовленные тарные сосуды поступали в села Баклинской округи.

Археологические исследования Баклы показывают, что она была заселена уже в III в. Малое сельскохозяйственное поселение специализировалось на производстве вина. Об этом свидетельствует множество остатков вырубленных в скале цистерн, тарапанов, отстойников. В V — второй половине VI в. часть поселения впервые обносится оборонительной стеной и превращается в небольшое убежище. Скорее всего, его построили по инициативе византийской администрации, основанной здесь самый северный форпост империи на Крымском п-ове. Удачным ли было расположение Баклы со стратегической точки зрения?



Обвалившаяся скальная часовня.

С обеих сторон над террасой, где находилось городище, возвышалась на 12–16 м гряда. С нее вся цитадель (не говоря уже об остальной площади поселения) просматривалась как на ладони и легко обстреливалась. Поэтому ее едва ли можно считать крепостью, сдерживающей крупные силы неприятеля. Скорее всего, она создавалась как убежище. За оборонительными стенами можно было укрыться в случае нападения небольших отрядов кочевников и оповещать гарнизоны других крепостей о продвижении противника. Уступы горной гряды над городищем также образуют очень хорошее прикрытия от

набега кочевников. Для тех же, кто шел с севера, Баклинская крепость практически была не видна. С X–XI вв. поселение стало постепенно приобретать черты небольшого провинциального византийского города. Это особенно проявилось в XII–XIII вв. В 1298–1299 гг. во время нашествия золотоордынского эмира Ногай (а по некоторым данным, возможно, позднее — в середине XIV в. [3]) Бакла в последний раз была захвачена и опустошена, после чего жизнь здесь угасла.

* * *

Мне посчастливилось неоднократно (начиная с 1987 г.) по-

сещать этот «пещерный город». Каждый раз непередаваемое впечатление производит открывающаяся отсюда редкая по красоте панорама Крымских гор. Слева на горизонте видна величественная громада Чатыр-Дага, справа — стройный силуэт Тепе-Кермен, а еще правее — плато «пещерного города» Чуфут-Кале. Гряды Крымских гор выглядят словно исполинские окаменевшие волны, постепенно набирающие высоту и где-то далеко на юге стремительно обрушивающиеся вниз отвесными скалами. Среди них — молчаливые седые руины Баклы, бережно хранящие еще столько тайн и загадок. ■

Литература

1. Уфимцев Г.Ф. Петра // Природа. 2008. №11. С.53–56.
2. Фадеева Т.М., Соколова М.В. Бахчисарай и окрестности: Путеводитель. Симферополь, 2003.
3. Герцен А.Г., Махнева-Чернец О.А. Пещерные города Крыма: Путеводитель. Севастополь, 2008.
4. Могаричев Ю.М. «Пещерные города» в Крыму. Симферополь, 2005.

Сгущения жизни в глубинах океана

Л.И.Москалев,
доктор биологических наук
Институт океанологии РАН
Москва

Владимир Иванович Вернадский в основу изучения жизни в гидросфере положил понятие «густота жизни — выделение участков, ею (жизнью. — Л.М.) обогащенных» [1]. В структуре океана он обособил участки, названные им *пленками* (планктонной и донной) и *сгущениями (усилениями) жизни* (прибрежным и саргассовым). Прибрежные сгущения жизни образуются зарослями водорослей и морских трав, скоплениями моллюсков, постройками кораллов, известковых водорослей, мшанок. Как полагал Вернадский, такие сгущения жизни занимают едва ли 2% общей массы океана, остальная его часть содержит *жизнь рассеянную*.

За прошедшие 80 лет благодаря новой технике (буксируемым необитаемым и глубоководным обитаемым аппаратам и т.п.) изучение гидросферы Земли, в частности Мирового океана, значительно продвинулось. Сделан ряд сенсационных открытий, позволяющих говорить о сгущениях жизни не только на прибрежных мелководьях, но и на глубинах более 200 м. Это, во-первых, *органогенные постройки* в виде рифов и банок стеклянных губок и агерматипных азооксантиллатных мадрепоровых кораллов (склерактиний), во-вторых, скопления фауны на полях возле *горячих* и *холодных разгрузок флюидов*, обогащенных сероводородом и метаном (вестиментиферы, двусторчатые моллюски, креветки, «помпейские черви» и другие животные).

Сгущения жизни в виде *рифов* в фотической зоне современного

океана хорошо известны по постройкам различных кораллов, занимающих 250 тыс. км² поверхности океана. В палеозое это рифовые постройки археоциат, строматопорат, табулят, ругоз; в мезозое и кайнозое — скопления рудистов, мадрепоровых кораллов, губок и мшанок. Крупнейшей *биоконструкцией*, когда-либо существовавшей на Земле, считается риф из нижней юры, построенный стеклянными губками (гексактинеллидный) на северном шельфе моря Тетис протяженностью более 7000 км. В раннем кайнозое губочные рифы исчезают, однако в конце 80-х годов XX в. в Тихом океане в заливе Королевы Шарлотты и проливе Хекате у Юго-Западной Канады на глубинах 140—240 м во время геофизических работ обнаружено четыре участка дна общей площадью 700 км², занятых гексактинеллидными рифами. В 1999 г. в результате обследования рифов с двухместного обитаемого аппарата «Дельга» выяснено, что основные рифостроители — семь видов губок (три из подкласса Hexactinosida, четыре — из Lyssacosida). Рифовые хребты достигают 7 км длины и 21 м высоты, возраст их оснований около 9 тыс. лет, сложены они из скелетов отмерших губок. Придонная температура в зоне обитания губочных рифов — 5.5—7.3°C, соленость 33.2—34.2‰, скорость течения до 35 см/с. Подобные рифы обнаружены и на юге пролива Джорджия, но на глубинах 150—190 м.

В архиве лаборатории донной фауны Института океанологии РАН хранится фотография, сделанная во время 7-го рейса научно-исследовательского суд-

на «Академик Мстислав Келдыш» при погружении обитаемого аппарата «Пайсис» в северо-западной части Индийского океана (рис.1). Под фотографией, опубликованной в журнале «Природа» [2], подписано: «Сообщество сестонофагов: горгоновые и мадрепоровые кораллы с сидящими на них офиурами». Однако внимательное рассмотрение ее заставляет предположить с большей уверенностью, что на снимке запечатлено скопление гексактинеллидных губок *Sarostegia oculata* (Hexactinosida, определение К.Р.Табачника), образующих если не риф, то по крайней мере банку — факт, ранее неизвестный для указанных глубин. Слева от «холма» *S. oculata* — стеклянная губка *Hyalonema* sp. (на «ножке»), на вершине — морская звезда из семейства Brisingidae, внутри несколько экземпляров офиур (видны только их «руки»), у подножия — веерообразные горгоновые кораллы из семейства Primnoidae и Chrisogorgiidae (другой формы) и мелкие белые веера гидрокораллов Stylasteridae. По литературным данным, *S. oculata* распространена от 256 до 1829 м, во время упомянутого погружения «ковры» саростегии обнаружены также на глубинах 1610 и 1820 м.

Если процветание губочного рифа обеспечивают гидрохимические и гидродинамические свойства окружающих его вод, а также их продуктивность на основе фотосинтеза, то по распространению глубоководных склерактиний нет единого мнения. Основной глубоководный рифостроитель в этой группе — *Lophelia pertusa*, а также несколько других видов, образующих

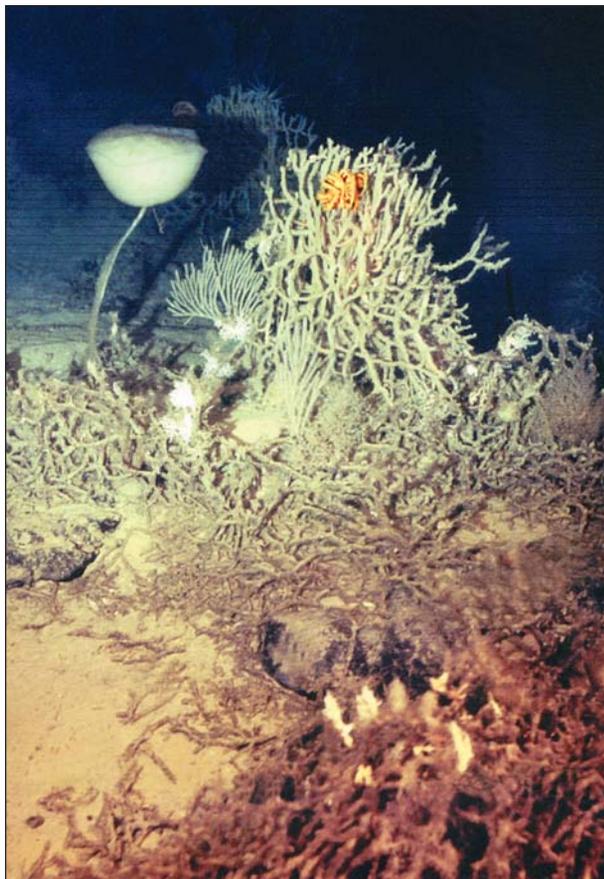


Рис.1. Гексактинеллидные губки *Sarostegia oculata* на северном склоне подводной горы Эррор (1200—1250 м). 30 января 1984 г.



Рис.2. Вестиментиферы *Riftia pachyptila* на гидротермальном поле в бассейне Гуаймас Калифорнийского залива (2000 м).



Рис.3. Двустворчатые моллюски *Phreagena kilmeri* (Vesicomuïdae) на Сонорском склоне бассейна Гуаймас Калифорнийского залива (1581 м).



Рис.4. Мидии *Bathymodiolus puteoserpentis* в гидротермальном районе Логачев в Атлантическом океане (3020 м).

в Атлантическом океане и за его пределами, обычно на глубинах 200—1000 м, округлые и продолговатые рифы высотой до 40 м и площадью от 100 и более 60 тыс. м². Наблюдения в аквариумах показали, что полипы лофелии захватывают и переваривают зоопланктон размером от 1 мм до 2 см; вероятно, они могут употреблять органические частицы и растворенное органическое вещество. Однако М.Ховланд считает, что все скопления глубоководных склерактиний приурочены к зонам высачивания углеводородов, где благодаря хемосинтезу накапливаются запасы пищи, потребляемой ими [3]. Иначе говоря, растворенные в придонной воде углеводороды образуют «бактериальный суп», который и служит основным источником питания. Скорее всего, *L.pertusa* использует различные источники питания в зависимости от места обитания.

О существовании лофелиевых рифов в глубинах океана известно уже около 150 лет, а вот глубоководные биотопы с повышенной концентрацией восстановленных соединений, в частности сероводорода и метана (восстановительных биотопов), изучают всего 30 лет. Различают два основных типа восстановительных биотопов — гидротермы (с температурой разгружающегося флюида, иногда превышающей 400°C, и концентрацией сероводорода до десятков миллимолей на килограмм) и холодные сипы или высачивания (с температурой флюида от долей градуса до 45°C и концентрацией метана до 22.4 мл/л) [4].

Если стеклянные губки и склерактинии образуют скопления в виде рифов (число видов-рифостроителей при этом незначительно), то вокруг гидротерм и сипов формируются поля, объединенные в районы. В них живет 500 видов животных, десятая часть которых доминирует по биомассе в различных поселениях восстановительных биотопов. Сегодня известно более 50 гидротермальных районов с максимальной глубиной 3700 м и приблизительно столько же районов холодных сипов, достигающих глубины 7434 м [5].

Основную массу гексакинетеллидных и лофелиевых рифов составляют сестонофаги (фильтраторы), а на полях восстановительных биотопов преобладают симбиотрофы (эндо- и экзосимбиотрофы), грейзеры, детритофаги и, в меньшей степени, сестонофаги. Эндосимбиотрофы используют питательные вещества, выделяемые внутриклеточными бактериями; экзосимбиотрофы питаются бактериями, сидящими на поверхности их тела; грейзеры «пасутся» на бактериальных матах; детритофаги поедают осаждающийся на дно детрит. Самая высокая биомасса в поселениях двустворчатых моллюсков в Атлантике — у представителей семейства *Vesicomysidae* на гидротермальном поле Логачев на глубине 3000 м: до 70 кг/м² (мягкие части и раковина). Таких же величин достигают биомассы мидии *Bathymodiolus puteoserpentis* на Логачеве, Броккен Спур и Снейк Пит вплоть до глубин около 3500 м [6]; в обоих случаях в жабрах

моллюсков живут бактерии-симбионты. Сырой вес без трубки вестиментиферы *Riftia pachyptila* в Галапагосском рифте на глубине 2460 м достигает 15 кг/м², однако, по моим наблюдениям, биомасса этого вида в бассейне Гуаймас Калифорнийского залива на глубине 2000 м гораздо выше (рис.2—4). Один из сегментов этого червеобразного животного (трофосома) заселен бактериями-симбионтами. У остальных обитателей, преобладающих в биотопах (брюхоногих моллюсков, усонюгих раков, креветок, полихет), максимальная биомасса гораздо ниже, чем у двустворчатых моллюсков и вестиментифер, но не менее 1 кг/м², что в корне меняет наше представление об обилии жизни в глубинах океана.

Еще в 1971 г. Л.А.Зенкевич с соавторами опубликовал карту «Распределение биомассы бентоса в Мировом океане (в г/м²)», основанную на анализе дночерпательных проб, получаемых с площади 0.2—0.25 м² с последующим пересчетом на 1 м² [7]. В комментариях к карте утверждалось, что на огромных площадях открытых и удаленных от побережий глубоководных частей всех океанов показатели биомассы очень низкие — не превышают 1 г/м². Биомассы более 1 кг/м² указаны лишь для немногочисленных участков побережий краевых морей Северного полушария. Однако исследования глубоководных рифов и полей восстановительных биотопов меняют картину распределения биомасс на дне Мирового океана. ■

Литература

1. Вернадский В.И. Биосфера. Л., 1926.
2. Миронов А.Н., Сагалевиц А.М. Жизнь на подводных горах // Природа. 1987. №6. С.34—42.
3. Hovland M. // Terra Nova. 1990. V.2. P.8—18.
4. Гебрук А.В., Галкин С.В. Гидротермальный биотоп и гидротермальная фауна: общие положения // Биология гидротермальных систем. М., 2002.
5. Москалев Л.И. Открытие и исследование гидротерм и холодных высачиваний сероводорода и метана на дне Мирового океана // Биология гидротермальных систем. М., 2002. С.25—58.
6. Галкин С.В. Гидротермальные сообщества Мирового океана. М., 2002.
7. Зенкевич Л.А., Филатова З.А., Беляев Г.М. и др. // Бюлл. Моск. об-ва испыт. Природы. Отд. биологии. 1971. Т.76. №3. С.27—33.

Океанология

Программа «Арго» выполнена

Первоначальная цель международной программы «Арго», состоявшая в создании глобальной сети наблюдений *in situ*, считается выполненной: сейчас, спустя семь лет с начала ее реализации, 3000 дрейфующих автономных буев охватывают всю акваторию Мирового океана. С каждого буя непрерывно измеряются соленость и температура воды от поверхности до 2000 м глубины; 10-суточный цикл, за который совершаются спуск и подъем, позволяет получать точные данные и моделировать динамику океана.

Благодаря ежегодному пополнению 800 новыми буями сеть «Арго» сохраняет свою высокую эффективность и позволяет отслеживать состояние океана на протяжении длительного времени.

La Recherche. 2008. №415. P.14 (Франция).

Метеорология

«Воздушные ямы» можно обойти

В США Администрация воздушного транспорта и Национальный центр исследований атмосферы разработали и ведут испытания системы, позволяющей пассажирским лайнерам избегать в полетах турбулентные потоки. Встреча с этими давно и печально известными в авиации «воздушными ямами» не только вызывает ухудшение самочувствия пассажиров, но иногда приводит к травмам.

Для обнаружения зон риска предложена система, основанная на данных, которые поступают от доплеровских метеорологических радаров последнего поколения. Математическая обработка позволяет получить трехмерное представление о турбулентных потоках,

а также об их интенсивности. Эти сведения сообщаются пилоту, и ведомый им самолет может обойти опасную зону.

Предложенная система — весьма существенное достижение: только в США порядка тысячи пассажиров, не пользующихся в полетах ремнями безопасности, ежегодно получают травмы различной степени тяжести из-за попадания самолетов в «воздушные ямы». Две трети этих «ям» приходится на грозные облака.

Science et Vie. 2007. №1082. P.32 (Франция).

Охрана природы

Катастрофически сокращается мировое биоразнообразие

Франция, наряду с Эквадором, США, Малайзией, Индонезией, Мексикой, Китаем, Бразилией, Австралией и Колумбией, относится к государствам, территории которых населяет наибольшее число видов флоры и фауны, находящихся под угрозой исчезновения. В целом во Франции на грани вымирания значится 641 вид животных и растений, которые в основном распространены на богатейших по видовому составу ее заморских территориях (прежде всего в Новой Каледонии и Полинезии, где сосредоточено 80% общего биоразнообразия страны). В настоящее время виды, населяющие эти области, теряют по меньшей мере 70% своих первоначальных ареалов.

Terre Sauvage. 2007. №233. P.53 (Франция).

Климатология

Югу Европы грозят циклоны

Потепление климата может вызвать формирование тропических циклонов в Средиземноморье — к такому заключению

пришел М.А.Гартнер (M.A.Gaertner; Университет Кастилья-Ла-Манча, Испания) и его сотрудники. Согласно разработанным ими моделям, юг Европы, до сих пор не задеваемый ураганами, окажется на протяжении десятилетий, считая от настоящего времени до 2071—2100 гг., под действием циклонов.

В октябре 2005 г. много неприятностей принес ураган «Винс». Зародившись в Атлантике и набирая силу, он направился к Испании, обрушивая на землю мощные осадки. Модели впервые показали возможность именно такого направления движения циклонов.

Science et Vie. 2007. №1081. P.44 (Франция).

Гляциология

Ледовый купол Монблана подрос

Эксперты-геодезисты департамента Верхняя Савойя (Франция) возобновили измерения высоты Монблана, которые они ведут начиная с 2001 г. с помощью Системы глобального позиционирования. Результаты измерений, производимые каждые два года, показывают, что эта самая высокая гора Европы с покрывающими ее вершину льдами имеет высоту 4810.90 м — за два года она подросла на 2.15 м. Однако причина не в подъеме горных пород, а в приросте льдов на вершине.

Ледовый купол Монблана, находящийся выше отметки 4800 м, накопил за два года 9800 м³ снега. По отношению к 2003 г. прирост составил не менее 9455 м³. Это увеличение количества снега, выпавшего на вершину Монблана, скорее всего, объясняется очень высокой частотой ветров западного направления, приносящих умеренно теплый воздух, дожди и мокрый снег.

La Recherche. 2007. №414. P.14 (Франция); www.geometre-expert.fr

«ОТКРЫТИЯ, КОТОРЫЕ ДОСТАВЛЯЮТ УДОВОЛЬСТВИЕ»

Научный путь генетика Е.В.Ананьева



Е.В.Ананьев (13.01.1947—10.01.2008).

Евгений Витальевич Ананьев — замечательный ученый, доктор биологических наук, лауреат Государственной премии СССР, сделавший ряд фундаментальных открытий в области структуры генома и хромосом. Главные из них — получение экспериментальных доказательств наличия мобильных генетических элементов у дрозофилы (1976) и создание искусственной хромосомы растений (2006). Между этими событиями — 30 лет, в течение которых творческий подъем сменялся периодами поиска новых научных тем, а то и просто работы. Но как бы ни складывались обстоятельства, Ананьев поражал окружающих неиссякаемой энергией, глубокой увлеченностью и бескомпромиссной научной честностью. Именно эти качества позволили ему сделать фундаментальные открытия на основе, казалось бы, простых наблюдений, которые нельзя было объяснить при помощи существующих теорий. Как истинный ученый, он пытался понять суть явления, и если результаты не соответствовали теории, то он менял теорию, а не факты.

Ананьев прошел сложный жизненный путь — от ребенка из бедной семьи послевоенной поры до ученого с мировым именем. Еще в детстве у него возник интерес к биологии — науке, которой он посвятил свою жизнь, оборвавшуюся в 60 лет, в период расцвета его творческой активности. Он руководил замечательным научным коллективом, получившим в феврале 2006 г. первую искусственную хромосому растений. А через полгода у него обнаружили глиобластому — опухоль мозга, принадлежащую к одному из самых агрессивных видов рака.

Евгений Витальевич мужественно боролся с недугом до последнего своего часа, напряженно работал над своими воспоминаниями, создавал фото- и киноархивы. Но болезнь оказалась сильнее самых передовых методов медицины. Он успел осуществить только малую толику своих обширных замыслов. Его воспоминания остались незавершенными, но они послужили основой статьи, написанной женой и соратницей Ананьева, О.Н.Данилевской. Их союз был семейным и научным тандемом на протяжении 40 лет.

От мобильных элементов к искусственной хромосоме

О.Н.Данилевская,
кандидат биологических наук
Компания «Пионер»
Де-Мойн (штат Айова, США)

Биографы Евгений Витальевич Ананьев родился в Москве 13 января 1947 г. Его родители — мать Мария Андреевна Фролова и отец Виталий Дмитриевич Ананьев — принадлежали к тому поколению, чья юность пришлось на годы войны. Не окончив средней школы, они пошли работать на оборонные заводы Москвы. Женины родители были очень молоды, и воспитание мальчика взяла на себя его бабушка Мавра Петровна, женщина полуграмотная, но с сильным характером и твердыми жизненными принципами, передавшая эти черты своему внуку. Она любила повторять, что доведет Женю до четвертого класса, а дальше он должен учиться сам. Женя действительно учился сам, и учился хорошо. Но после 9-го класса перешел в школу рабочей молодежи, а днем работал слесарем, чтобы помогать матери, поскольку к тому времени его родители развелись.

Но Женя хотел быть биологом, а не слесарем. Такое решение пришло к нему в тот момент, когда он впервые услышал биение собственного сердца и осознал, как хрупка человеческая жизнь. Жене было всего 10 лет, и в его детском сознании неожиданно возникла мысль, что, став биологом, он сможет победить смерть. Этот наивный детский порыв не угас с годами, а перерос в серьезное желание найти свой путь в науке. Помог ему отец, Виталий Дмитриевич,

зная о мечте сына стать биологом, обратился однажды к своему лечащему врачу с просьбой помочь сыну найти работу, связанную с биологией. Оказалось, что сестра врача, Ирина Вешнева, работала в Институте радиационной и физико-химической биологии в знаменитой лаборатории А.А.Прокофьевой-Бельговской, выдающегося цитогенетика и блистательной личности. Там в 1964 г. началась научная карьера семнадцатилетнего Жени в должности препаратора.

Эта работа оказалась настоящим подарком судьбы и большой жизненной удачей. Его первыми учителями стали О.Н.Капитонова, которая научила Женю работать с микроскопом и делать препараты хромосом, и В.М.Гидилис, наставник, воспитатель и друг на всю жизнь. Гидилис тогда искал отличительные черты всех 23 пар хромосом человека. Для этой цели Женя готовил цитологические препараты, фотографировал их под микроскопом на стеклянные фотопластинки, печатал снимки на фотобумаге и измерял длину хромосом линейкой. Именно тогда он постиг и полюбил тонкое искусство микроскопии. Позже написал в своем дневнике: «запах кедрового масла навсегда остался любимым». Здесь же у него зародился глубокий научный интерес к структуре хромосомы, который не покидал его на протяжении всей жизни.

Учась в школе рабочей молодежи, Женя не смог получить образование, соответствующее

его замыслам. Однако, проявив поразительную целеустремленность, он с третьей попытки поступил в 1965 г. на вечернее отделение биологического факультета Московского государственного университета, а на третьем курсе перешел на дневное отделение, на кафедру генетики. Я в то время была студенткой на этой же кафедре, где мы и познакомились.

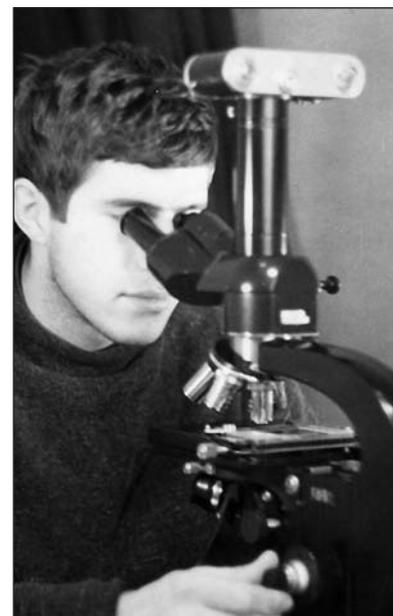
После окончания университета в 1970 г. Женя пришел в лабораторию В.А.Гвоздева в биоло-



Шестилетний Женя в пальтишке, сшитом мамой. Москва. 1953 г.



С отцом, В.Д.Ананьевым. Москва. 1957 г.



За микроскопом в лаборатории А.А.Прокофьевой-Бельговской. Москва. 1964 г.

гический отдел Института атомной энергии на должность старшего лаборанта. Работал сразу над тремя проектами: эффект положения и дозовая компенсация (по предложению Гвоздева) и репликационная организация хромосом дрозофилы в культуре клеток (по собственной инициативе). В 1975 г. блестяще защитил кандидатскую диссертацию. Как позже шутил сам Евгений Витальевич, он сделал три кандидатские диссертации за один аспирантский срок.

Открытие мобильных элементов

Начало 70-х годов занимает особое место в истории молекулярной биологии. Тогда был разработан метод клонирования ДНК. Он заключается в том, что с помощью «молекулярных ножниц» (рестрикционных ферментов) молекулу ДНК разрезают на кусочки и затем сшивают с молекулой ДНК-переносчика (вектора), что дает возможность размножить эти фрагменты в неограниченном количестве в бактериальных клетках

кишечной палочки. Такой метод позволял непосредственно изучать структуру индивидуальных генов практически любого организма. В дальнейшем на его основе развились новые отрасли молекулярной биологии: генная инженерия, биотехнология и геномика.

Одним из энтузиастов этого метода в Советском Союзе стал

Г.П.Георгиев, заведующий лабораторией в Институте молекулярной биологии (бывшем Институте радиационной и физико-химической биологии), где Ананьев начинал свою научную карьеру. Георгиев, будучи одним из немногих «выездных» советских ученых, регулярно участвовал в симпозиумах по молекулярной биологии в лаборатории



Е.В.Ананьев (слева) и В.М.Гиндилис. Москва. 1964 г.

Колд Спринг Харбор (США) — Мекке молекулярных биологов. Там он и узнал о методе клонирования, оценил его мощь и развернул активную деятельность по клонированию генов дрозофилы (затем и мыши) в своей лаборатории. Дрозофила была особенно привлекательным объектом по двум причинам. Во-первых, гигантские политенные хромосомы, получаемые из слюнных желез мушки, позволяли увидеть расположение генов на хромосоме под микроскопом; во-вторых, уникальная культура клеток, ранее полученная в лаборатории Гвоздева, служила идеальным источником для выделения ДНК. Союз двух лабораторий (Георгиева и Гвоздева) оказался исключительно плодотворным.

В те годы Георгиев увлекся идеей повторяющихся элементов ДНК, которые могли бы отвечать за регуляцию множественных генов. Метод клонирования идеально подходил для поиска таких регуляторных зон. В начале 1976 г. аспирант в лаборатории Георгиева Н.А. Чуриков, чьим научным руководителем был Ю.В. Ильин, клонировал и охарактеризовал сотни фрагментов

ДНК дрозофилы, некоторые из которых присутствовали в геноме многими копиями. Один такой фрагмент, Dm225 (от *Drosophila melanogaster*), Ананьев получил для определения его местоположения в геноме дрозофилы с помощью гибридизации *in situ* (т.е. на местах) на политенных хромосомах. Этот метод гибридизации основан на свойстве изолированных фрагментов ДНК узнавать сходные последовательности на хромосомах и образовывать комплексы-гибриды. Обычно изолированный фрагмент ДНК метят радиоактивным изотопом и по этой метке определяют его расположение на политенных хромосомах. У млекопитающих, включая человека, политенных хромосом нет, поэтому прямая локализация фрагментов у них невозможна. В этом состояло большое преимущество дрозофилы для изучения природы клонированных генов.

Евгений Витальевич блестяще справился с поставленной задачей, сделал наблюдение, которое привело к открытию мобильных элементов дрозофилы. Вот поразительное по ясности

и силе описание этого открытия из дневника Ананьева: «К этому времени я уже освоил методику *in situ* гибридизации на политенных хромосомах дрозофилы. На моем первом и единственном препарате я увидел, что, действительно, этот кусочек ДНК (Dm225) гибридизуется примерно с 40 участками на политенных хромосомах. При сравнении одной и той же хромосомы, например X-хромосомы из разных ядер, можно было видеть, что набор гибридизующихся участков и их местоположение в хромосоме были сходны. Одно ядро, однако, привлекло мое внимание. В этом ядре отцовская и материнская хромосомы, составляющие пару гомологичных хромосом, не были тесно сочленены, как обычно наблюдается у политенных хромосом в большинстве ядер, а несколько разошлись друг от друга. Распределение гибридизующихся участков (так называемых сайтов гибридизации) на этих гомологичных хромосомах оказалось полностью различным. Это было что-то совершенно новое! Согласно классической генетике, гомологичные хромосомы содержат идентичный набор генов, расположенных в строго определенном порядке. А в данном случае ген (в то время мы еще не знали настоящую природу этого кусочка ДНК) находился в разных местах гомологичных хромосом, т.е. был способен «перемещаться» по хромосоме.

Это была загадка! Что это? Мобильные элементы, которые недавно были найдены у бактерий, или мистические контролирующие элементы, обнаруженные у кукурузы Барбарой Мак-Клинтон? А может, просто некая особенность генома дрозофилы?

Я подумал, что разгадка может крыться в том, что для проведения эксперимента я использовал особо крупных личинок дрозофилы, которых получал путем скрещивания двух родительских линий этой муш-



Участники конференции по генетике дрозофилы. Слева направо: Е.В. Ананьев, Л.З. Файзулин, В.А. Гвоздев, Т.И. Герасимова, Л.Г. Полукарова, С.А. Гостимский. Ленинград, 1972 г.

ки. Каждая из родительских линий несла мутацию *gt* (от английского *giant* — гигант), приводящую к увеличению размера личинки и, соответственно, увеличению размеров политеменных хромосом. Поэтому ассиметричное распределение сайтов гибридизации могло быть связано с изначально существующими различиями в хромосомах родителей. Чтобы подтвердить свою догадку, я сфотографировал все примеры расхождения гомологичных хромосом, и после дополнительного анализа стало очевидно, что закономерность, действительно, есть: например, в одной гомологичной хромосоме было 5 сайтов, а в другой — ни одного. Это было первое указание на то, что картина гибридизации над гомологичными хромосомами воспроизводится. Как только я увидел, что последовательность генов не совпадает, мне пришла в голову мысль, что это «прыгающие» гены. Стало очевидно, что надо повторить точно такую же гибридизацию, но на этот раз — на родительских линиях дрозофилы.

Я поделился своими наблюдениями с Владимиром Алексеевичем Гвоздевым. То, что эти элементы представлены многими копиями и «рассытаны» по геному, вполне укладывалось в гипотезу Г.П.Георгиева, который полагал, что разные гены могут иметь одинаковые регуляторные элементы. Однако то обстоятельство, что эти элементы могли «прыгать», лишило их регуляторной функции. Согласно оценкам Коли Чурикова, число копий этих генов (или элементов) должно было быть в 10 раз больше, чем сайтов гибридизации. В.А.Гвоздев предположил, что эти гены образуют группы или локальные кластеры, которые соответствуют особым районам хромосом дрозофилы, так называемым районам интеркалярного гетерохроматина. Эти районы имеют ряд особенностей, в том числе, некоторые из них перестают реплици-



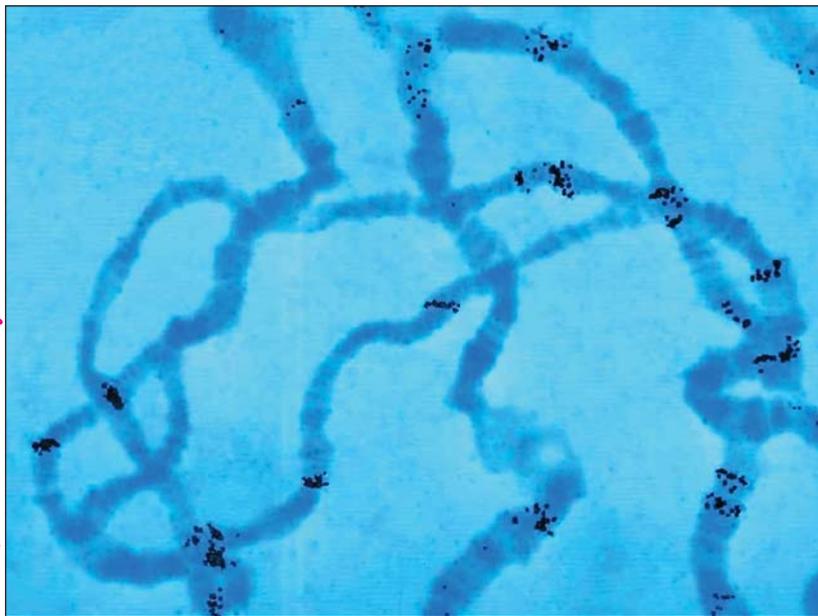
Женя Ананьев. 1976 г.

роваться в процессе формирования политеменных хромосом. Владимир Алексеевич предположил, что наблюдаемое различие между гомологичными хромосомами связано как раз с недорепликацией ДНК в этих районах. Более того, он проанализировал имеющиеся данные других авторов и составил список таких районов. Этот список он запечатал в конверт и вручил мне с тем, чтобы я сравнил оба списка, но только после того, как закончу собственный анализ сайтов гибридизации.

Цитогенетическая карта политеменных хромосом дрозофилы в то время имела двух видов: рисованная и очень подробная карта Бриджеса 1936 г. и фотографическая карта Лефевра 1976 г. Хромосомы на этих картах были представлены лентами с поперечными полосами, что-то вроде штрих-кода. На рисованной карте число таких полосок приближалось к 5000, а на фотографической было около 2000. Если первая карта была слишком подробной, и ею нельзя было пользоваться, то вторую надо было еще учить. Я в то время умел четко распознавать на цитологических препаратах только X-хромосому, точнее, ее конец, примерно 10% от длины хромо-

сомы. Без знания карты было невозможно ответить на ряд наиболее существенных вопросов: Каковы различия между родительскими линиями дрозофилы? Есть ли различия между родительскими хромосомами одного и того же индивидуума?

Решение этой задачи потребовало от меня мобилизации всех моих сил. Я наготовил препаратов политеменных хромосом, сфотографировал большое число ядер с хорошо расправленными политенными хромосомами, напечатал фотографии и засел за их анализ. Постепенно, через две недели, я наконец-то научился распознавать все хромосомы и каждую из их 100 секций. Первое, что я установил, — это существенные различия между родительскими линиями. Две линии дрозофилы, с которыми я работал, имели всего 1 или 2 общих сайта гибридизации. Все остальные сайты, чуть больше 20 в каждой линии, оказались в неродственных участках хромосом. Второе, разные клетки одного и того же организма имели одно и то же расположение сайтов гибридизации. Третье, действительно, часть сайтов гибридизации совпадала с районами интеркалярного гетерохроматина, которые, как оказалось впослед-



Гибридизация мобильного элемента МДГ1 на политенных хромосомах дрозофилы. В месте расхождения родительских хромосом сигнал гибридизации виден в одной и отсутствует в другой хромосоме. 1976 г.

ствии, и были мне даны в запечатанном конверте».

В конце 1976 г. Георгиев с соавторами опубликовали полученные результаты в январском номере журнала «Science» [1], где описывались методы выделения фрагмента Dm225 и результаты гибридизации с политенными хромосомами, включая и нестабильное положение генов, со ссылкой на более подробную статью, которая готовилась к печати.

Но статья с детальным описанием всей цитологической работы Ананьева вышла лишь в сентябре 1978 г., т.е. через полтора года после первой публикации. Это объясняется тем, что в те времена подготовка к печати в зарубежном журнале занимала много времени. В статье подробно описывались результаты гибридизации двух фрагментов ДНК дрозофилы, Dm225 и Dm234В на двух родительских линиях, иллюстрированные великолепными цитологическими фотографиями политенных хромосом [2]. Статью по предложению Гвоздева назвали «Потворяющиеся гены с варьирующей

локализацией в районах интеркалярного гетерохроматина на политенных хромосомах *Drosophila melanogaster*». Это привело к тому, что в публикациях по мобильным элементам ее почти не цитировали. В своих воспоминаниях Ананьев писал: «Я довольно сильно настаивал на том, чтобы статью назвать по существу: «мобильные элементы» или «прыгающие гены». К сожалению, тогда руководители не придали серьезного значения гипотезе о подвижности элементов, высказанной молодым коллегой. Об этом Евгений Витальевич сожалел до конца своей жизни.

Летом 1977 г. на симпозиуме в Колд Спринг Харбор (США) Георгиев представил результаты совместных с Гвоздевым работ, где упоминал гипотезу о «прыгающих генах» как одно из возможных объяснений варьирующего расположение генов между разными родительскими линиями [3]. На той же конференции докладывали свою работу Д.Хогнесс и Дж.Рубин. Американские коллеги, работавшие только на одной линии мушки, весьма ос-

торожно отнеслись к данным советских ученых по генетическим различиям между разными линиями. Однако это не помешало им спустя два года опубликовать на эту тему две статьи в престижном журнале «Cell». Первая — о перемещении по геному изучаемых генетических элементов в культуре клеток [4]. Вторая — о варьирующей локализации этих элементов на политенных хромосомах в четырех линиях дрозофилы, полученных из географически отдаленных мест [5]. На четырех линиях Рубин увидел то же, что и Ананьев на двух — межлинейную вариацию. Но Рубин, в отличие от Ананьева, не привел точной локализации элементов на цитогенетической карте, а только подсчитал общее число участков гибридизации. Чтобы наглядно показать различия по гибридизации между родительскими линиями, он использовал прием Ананьева — скрестил две линии мушек и искал на препаратах участки с разошедшимися хромосомами. Основываясь на полученных результатах, американский генетик смело назвал свои элементы мобильными. Сегодня Рубин — бесспорный мировой лидер в области генетики дрозофилы. В 1999 г. он вместе с К.Вентером возглавил проект «Геном дрозофилы», который был первым успешным шагом в определении последовательности ДНК генома высших организмов [6].

После 1978 г. произошел настоящий взрыв в изучении мобильных элементов генома. Их клонировали и исследовали у многих организмов. Симпозиум 1980 г. в Колд Спринг Харбор уже назывался «Мобильные генетические элементы». Там Георгиев впервые назвал свои элементы МДГ (мобильные диспергированные гены), но в литературе успели прижиться более образные имена, такие как *coria* и *gypsy* («цыган»), предложенные американскими коллегами. В последующие годы лаборатории Георгиева и Гвоздева внесли значительный вклад в изучение

механизмов перемещения МДГ, их структуры и роли в генетических процессах. Возглавляемый ими коллектив авторов, куда входил и Ананьев, в 1983 г. удостоили Государственной премии СССР за цикл работ «Мобильные гены животных». Это было одно из самых важных открытий советской молекулярной биологии. Однако пальма первенства осталась за Хогнессом и Рубиным, и мобильные элементы дрозофилы вошли в учебники с их именами. Тем не менее объективная хронология научного поиска, отраженная в статьях 1977—1979 гг., свидетельствует о том, что первым, кто выполнил принципиальный эксперимент и понял мобильную природу этих элементов, был Ананьев.

В 1983 г. Евгений Витальевич защитил докторскую диссертацию на тему «Молекулярная цитогенетика мобильных генетических элементов дрозофилы». Прокофьева-Бельговская, будучи оппонентом диссертации, высоко оценила работу своего ученика, основным результатом которой стало открытие и молекулярно-цитогенетическая характеристика мобильных элементов. В этой гигантской по объему работе установлено, что распределение 12 семейств мобильных элементов на политенных хромосомах в пяти лабораторных линиях случайно и у мобильных элементов нет предпочтительных мест интеграции. Ряд фундаментальных выводов диссертации сохраняют свое значение и по сей день. Первый — мобильные элементы перемещаются с частотой ниже чем 10^{-4} на сайт на поколение, что типично для многих элементов. Второй — видоспецифичность мобильных элементов. Каждый вид плодовых мушек, исследованный в работе, имел свои специфичные мобильные элементы. Значит, мобильные элементы быстро меняются в ходе эволюции, что опять же оказалось общей закономерностью. Заключительный вывод диссертации гласил: «мобильные генетические элемен-

ты составляют значительную фракцию генома не только дрозофилы, но и других эукариот. Это позволяет говорить об универсальности самого принципа построения генома эукариот, составной частью которого должны быть мобильные генетические элементы». Этот вывод тоже оказался правильным. Кроме того, на электронно-микроскопической карте политенных хромосом, построенной вместе с другом и коллегой В.Е.Барским, с большой точностью были помещены как мобильные элементы, так и многие известные к тому времени гены.

Клонирование мобильных элементов дрозофилы было важнейшим этапом в понимании организации генетического материала высших организмов. Впервые, оно превратило мобильные элементы из генетической абстракции в реальные фрагменты ДНК, которые можно изучать прямыми биохимическими методами. Концепция перемещающихся элементов, впервые предложенная Барбарой Мак-Клинтон в 50-х годах на основании изучения нестабильных мутаций у кукурузы, на протяжении многих лет не находила признания. Мак-Клинтон получила Нобелевскую премию за открытие мобильных элементов только в 1983 г., после того, как мобильные элементы клонировали.

Во-вторых, изучение механизмов перемещения мобильных элементов доказало, что нитевидная молекула ДНК, из которой состоит хромосома, — это динамичная структура, способная вырезать из себя кусочки, копировать их и перемещать в новые места. Классическая хромосомная теория наследственности утверждала, что положение генов на хромосомах строго фиксировано, подобно бусинкам, нанизанным на нитку. Поэтому первичное цитологическое наблюдение, что некоторые кусочки ДНК не имеют фиксированного положения на хромосомах, казалось таким невероятным и воспринималось с трудом.

Продолжая аналогию с бусинками, можно представить, что мобильные элементы заполняют пространство между бусинками (т.е. межгенные пространства) и перемещаются между генами, в большинстве случаев не нарушая их работу. Частота их перемещений достаточно низка, чтобы сохранять целостность генома, но довольно высока, чтобы вызывать мутации, т.е. служить материалом для естественного отбора и селекции.

В третьих, мобильные элементы составляют подавляющую часть генетического материала у многих высших организмов. Гены-бусинки оказались затерянными, как песчинки, в бесконечном океане мобильных элементов. Например, геном человека на 80% состоит из мобильных элементов, и только 1.2% генома приходится на долю единичных генов-бусинок, которых у человека всего около 30 тыс. (остальные 19% занимают другие повторяющиеся последовательности). В геноме кукурузы также 80% составляют мобильные элементы, а межгенные пространства заполнены таким многообразием мобильных элементов, что они практически не совпадают при сравнении разных сортов кукурузы. Возможно, многообразие вариаций и форм кукурузы есть следствие активности мобильных элементов.

Так мобильные элементы, казавшиеся вначале частным наблюдением на политенных хромосомах дрозофилы, оказались универсальным компонентом геномов всех эукариот. Причина их вездесущности и избыточности по-прежнему остается загадкой. Определение последовательности геномов разных организмов, от примитивных древних рыб до человека, позволяет следить за историей мобильных элементов в процессе видообразования. Новые методы сравнения целых геномов начинают прояснять роль мобильных элементов как мощных факторов эволюции [7].

Генетические химеры и искусственные хромосомы

К моменту защиты докторской диссертации Евгений Витальевич осознал необходимость создания собственной лаборатории, чтобы воплощать в жизнь свои идеи. Поиски самостоятельной работы привели его в Институт общей генетики, где директор института А.А.Созинов предложил молодому энергичному ученому возглавить лабораторию молекулярной генетики растений. Так в 1983 г. Ананьев с энтузиазмом взялся за создание лаборатории и разработку научных проектов. Пришлось расстаться с любимым объектом, дрозофилой, и заняться генетикой растений. Несомненно, работа в Институте общей генетики стала одним из самых сложных периодов в его научной деятельности: новый институт, новый научный объект, новый опыт руководства большим коллективом и ответственность за людей.

Это были годы бурного развития геномной инженерии и биотехнологии. Идя в ногу со временем, Евгений Витальевич планировал работу в двух направлениях: применение методов геномной инженерии для изуче-

ния генетики ячменя и поиски мобильных элементов, по его мнению, универсальных компонентов всех геномов. Молодая лаборатория делала первые успехи. Создавались библиотеки генов, велись работы по структуре запасных белков ячменя, организации рибосомных генов, предпринимались попытки разработать метод генетической трансформации ячменя. А поиски мобильных элементов увенчались открытием мобильного элемента ячменя, названного Диалект.

Вскоре началась перестройка, «железный занавес» подняли, но страна оказалась в условиях колоссальных социальных и экономических потрясений. Жить и работать стало очень трудно. Так, летом 1991 г. вся лаборатория Ананьева сажала картошку в подсобном хозяйстве Горки-Ленинские, чтобы пережить следующую зиму. Многие сотрудники лаборатории уезжали работать за границу. В начале 1990-х годов скудное финансирование привело к окончательному развалу советской фундаментальной науки. Мы же, несмотря на возраст, были полны сил и желания продолжать научную работу. Так возникло решение уехать в США. Вначале мы планировали поработать там

два-три года, но уехали навсегда. Я нашла работу в Бостоне и в ноябре 1991 г. уехала с сыном, а в январе 1992 г. к нам присоединился Евгений Витальевич. Отъезд в Америку был шансом продолжить заниматься наукой, реализовать свой интеллектуальный потенциал, но Евгений Витальевич всегда оставался русским гражданином, интересовался событиями на Родине и верил в возрождение науки в России.

В Бостоне, знаменитом в первую очередь своими медицинскими учреждениями, найти работу по растительной тематике было практически невозможно. Евгений Витальевич устроился в лабораторию, где изучали генетику многоклеточной водоросли вольвокс. Занятие это не приносило удовлетворения, и он продолжал поиски интересного научного проекта. В конце 1994 г. в «Science» увидел объявление о проекте на удивительном объекте: гибриде овса с кукурузой. Эту генетическую химеру получил в Университете штата Миннесота замечательный генетик Х.Райнс, опылив колосок овса пылью кукурузы. Редкие жизнеспособные зернышки дали начало растениям, в целом похожим на овес, но содержащим одну кукурузную хромосому. Поскольку у кукурузы 10 хромосом, Райнс получил 10 так называемых хромосом-дополненных линий, каждая из которых несла одну кукурузную.

Оценив возможности этих линий для выделения генов из отдельных кукурузных хромосом, Ананьев сразу подал заявление на работу в этот университет. Получив приглашение, уехал в Миннесоту, где начал свой научный проект с построения библиотек генов из хромосом-дополненных линий овса. Сначала надо было отделить гены кукурузы от генов овса. Для решения этой задачи Евгений Витальевич использовал мобильные элементы, зная по своему опыту работы с дрозофилой, что они специфичны



На конференции по генетике кукурузы. Слева направо: Л.Сидоренко, И.Голубовская, Е.Ананьев, О.Данилевская. США. 2005 г.

для каждого вида. Собрав коллекцию мобильных элементов кукурузы, он показал, что они гибридизуются только с кукурузной ДНК. Используя эти элементы как молекулярные зонды, набрал коллекцию клонов, происходящих из отдельных кукурузных хромосом.

Следующая задача, которую он решал, — характеристика специализированного участка хромосомы, центромеры. Этот важнейший структурный компонент хромосомы необходим для правильного распределения родительских хромосом между дочерними клетками в процессе деления клетки. Механизмы функционирования центромер интересовали Евгения Витальевича еще со времен его первого знакомства с человеческими хромосомами в лаборатории Прокофьевой-Бельговской. Сейчас он имел генетическую систему, позволявшую выделить центромеру из индивидуальной хромосомы кукурузы. Ананьеву удалось найти специфический мобильный элемент, который встраивался именно в центромеры. Используя его как зонд, он выделил из геномных библиотек центромерные фрагменты, происходящие из отдельной кукурузной хромосомы. Тщательно исследовав эти фрагменты, он пришел к выводу, что центромера составлена из сотен и тысяч копий короткой (156 нуклеотидных пар) повторяющейся последовательности ДНК, которую назвал *CentC*. Оказалось, что длинные участки таких повторов, перемежаясь с мобильными элементами, составляют основу центромеры.

Миннесотский период жизни был необычайно продуктивным для Евгения Витальевича. Там он впервые за многие годы имел замечательные условия для работы и занимался только наукой, работая по 12 часов в сутки с огромной энергией. За три с половиной года он опубликовал 10 научных статей.

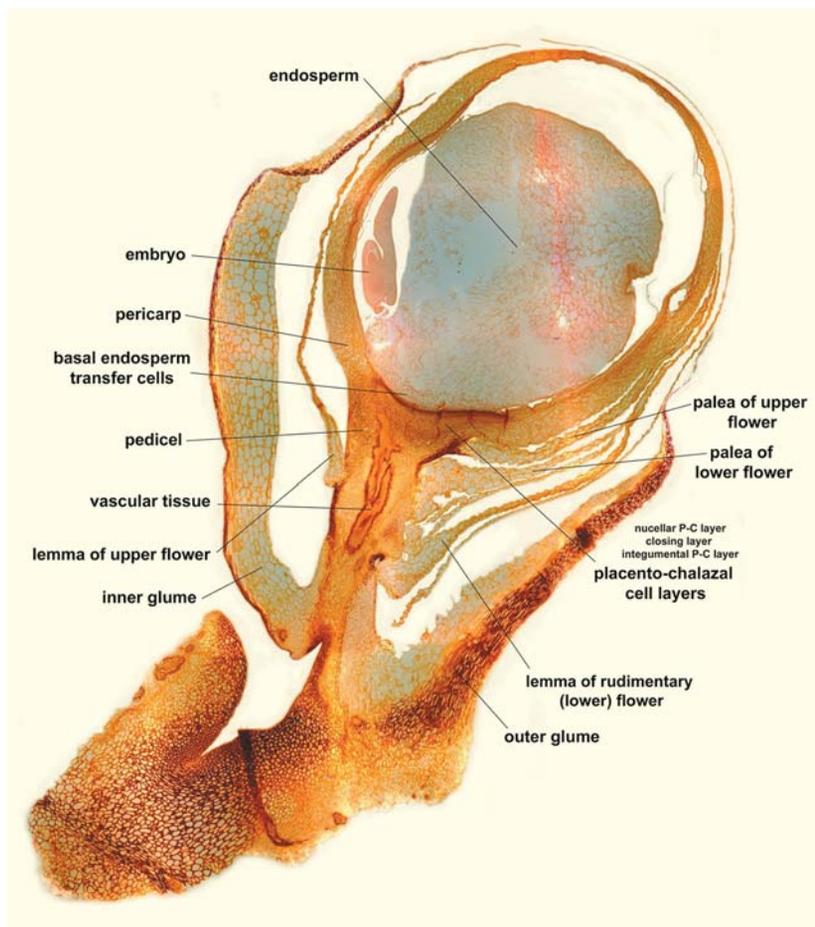
Но работа в Университете Миннесоты была временной. Ев-

гений Витальевич подал заявление в компанию «Пионер» в штате Айова, знаменитом своими кукурузными полями, которые в 1959 г. поразили Н.С.Хрущева. В 1998 г. Евгений Витальевич получил приглашение на должность руководителя группы по разработке методов физического картирования генома кукурузы. Проект был интересный, а возможности для ведения научной работы — огромные. «Пионер» — старейшая селекционная компания в США, которая с 1926 г. поставляет фермерам семена высокоурожайной гибридной кукурузы. Это первоклассно организованное производство с большим научно-исследовательским отделом, имеющим на вооружении все современные методы генетики

и молекулярной биологии. Осенью того же года я тоже получила работу в фирме «Пионер», и наша семья воссоединилась в Айове. Евгений Витальевич с энтузиазмом взялся за разработку методов физического картирования генома кукурузы.

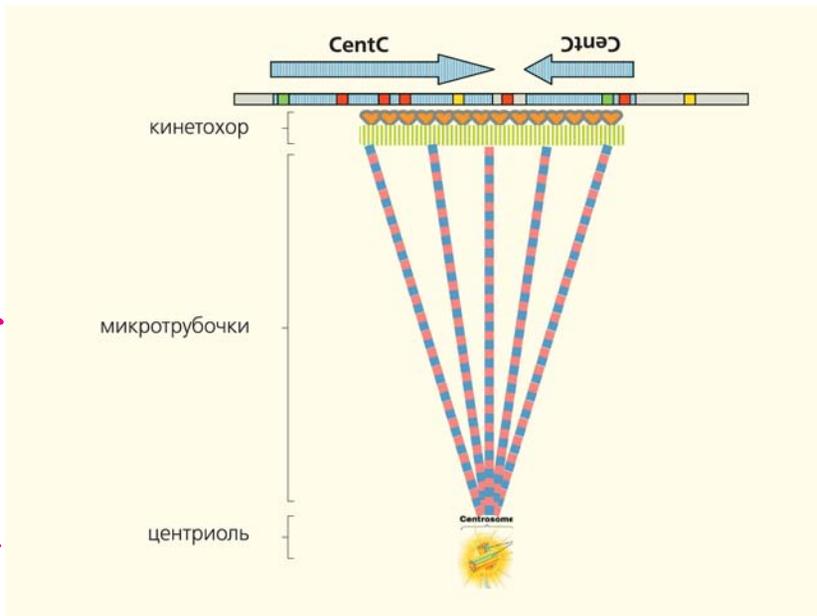
Однако интенсивная работа, видимо, не прошла бесследно для здоровья. В мае 2000 г. случился инфаркт. Успешная операция обещала долгую жизнь. С присущими ему мужеством и упорством Евгений Витальевич стал восстанавливать свое здоровье и в августе уже работал в полную силу.

Шесть лет после инфаркта были самыми плодотворными и счастливыми годами нашей жизни. Я изучала развитие кукурузы, делилась своими мыслями

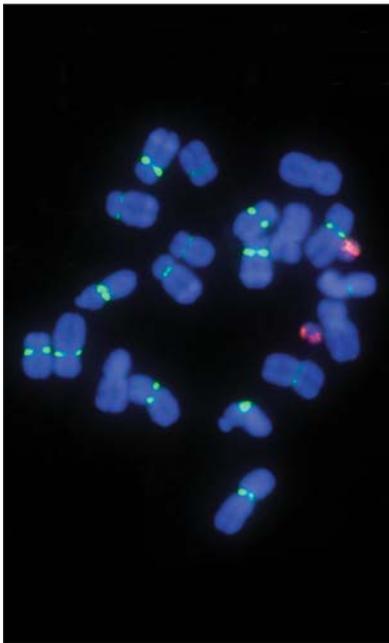


Продольный срез развивающегося зерна кукурузы на 10-й день после опыления. Все ткани подписаны на английском языке.

Фото Е.В.Ананьева



Модель центromеры, предложенная Е.В.Ананьевым. Противоположная ориентация повторов CentC задает направление плечам.



Микрофотография первой искусственной минихромосомы кукурузы. 10 пар нормальных хромосом (синий цвет) и дополнительная, 11-я пара минихромосом (красный цвет) в результате гибридизации с селективным маркером. Центromеры окрашены в зеленый цвет в результате гибридизации с CentC-фрагментом. 2006 г.

и наблюдениями с мужем, который серьезно заинтересовался этой проблемой. Он хотел понять, как закладываются и развиваются органы кукурузы, мечтал создать атлас ее развития, для которого начал собирать и фотографировать цитологические образцы. Качество этих фотографий и описание мельчайших деталей строения тканей были превосходны. В этом проявились его черты тонкого наблюдателя-натуралиста и прирожденного художника. Когда профессор Калифорнийского университета С.Хейк увидела фотографию кукурузного зернышка, она тут же попросила ее для публикации в руководстве по генетике кукурузы, которое должно выйти в конце 2008 г.

Однако главным делом Евгения Витальевич оставался проект по созданию искусственной хромосомы кукурузы. Этой сложной, но актуальной проблемой занимались и в университетах, и на биотехнологических фирмах Америки — кто первый сделает и запатентует искусственную хромосому. Этот вектор-носитель больших фрагментов ДНК необходимым для

геномных исследований. Так, искусственные хромосомы бактерий широко применяются для клонирования и секвенирования геномов практически всех организмов. У эукариот искусственные хромосомы созданы только в культуре клеток человека, в перспективе — для генной терапии. У растений же искусственные хромосомы уже сейчас можно использовать для переноса генетического материала между видами, для создания биохимических каскадов и привнесения ценных агрономических свойств в сельскохозяйственные растения. За искусственными хромосомами растений — большое будущее.

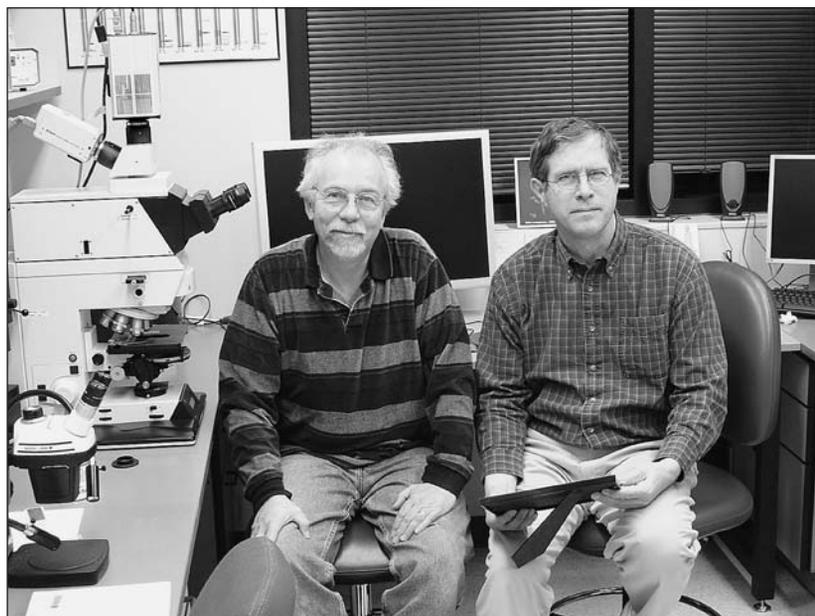
Функциональная хромосома содержит три обязательных компонента: теломеры — защитные «колпачки» на концах хромосом, предохраняющие их от разрушения; участки начала репликации, необходимые для удвоения хромосом перед клеточным делением; центromеры, обеспечивающие равное распределение хромосом между дочерними клетками. Эти компоненты, или «строительные блоки», как их называл Евгений Витальевич, составили основу искусственной хромосомы. Если теломеры и участки начала репликации были известны и доступны, то поиск функциональной центromеры представлял трудную задачу.

Чтобы понять, как устроена функциональная центromера, без которой невозможно построение искусственной хромосомы, сотрудники лаборатории Ананьева проделали сотни экспериментов. «Из геномной библиотеки было выделено около 8 тыс. центromерных клонов. Они были классифицированы согласно составу повторов. In situ гибридизация указывала на то, что сегменты ДНК расположены в центре прикрепления нитей веретена и являются частью кинетохора, т.е. функциональной центromеры. Второе открытие пришло неожиданно. На моем столе в течение

нескольких месяцев лежали статьи по секвенированию хромосом риса. Сами авторы оказались очень добросовестными исследователями и проанализировали и сравнили все последовательности со всем чем только можно. Они указали стрелками, что блоки тандемных центромерных повторов находятся в инвертированной ориентации по отношению к друг другу. Меня как прошибло током! Вот где два хромосомных плеча встречаются друг с другом! Центр кинетохора — это центр центромеры».

Основываясь на своей догадке, Евгений Витальевич предложил элегантную модель центромеры. Классическая митотическая хромосома выглядит как буква «X» с тонкой талией, так называемой первичной перетяжкой, от которой расходятся два хромосомных плеча. В области первичной перетяжки формируется кинетохор, к которому присоединяются нити веретена деления и тянут половинки хромосом в дочерние клетки. Модель центромеры объясняет образование перетяжки расхождением центромерных повторов в противоположных ориентациях, что задает направление левому и правому плечу хромосомы. Пока эта новая модель не подтверждена экспериментально. Хочется надеяться, что она окажется правильной, подобно догадке Евгения Витальевича о мобильных элементах.

Стратегический план Ананьева по поиску активной центромеры и сборке искусственной хромосомы из строительных блоков завершился подлинным триумфом. В феврале 2006 г. его лаборатория, опередив всех



С Марком Чемберленом в день обнаружения первого препарата с искусственной хромосомой. США. 9 февраля 2006 г.

конкурентов, получила и запатентовала первую в мире искусственную хромосому растений. В замечательном видеоклипе, сделанном Ананьевым, хромосома возникает как бы из небытия, как звезда из космоса, и приближается к зрителю во всей своей красе. Сопровождаемый музыкой Бетховена, видеоклип создает почти мистическое ощущение, что жизнь воспроизводится человеческими руками.

В своих последних дневниках Евгений Витальевич писал: *«Я рассматриваю проект по мини-хромосоме как вершину моей научной карьеры. Этот проект вызревал много лет и потребовал от меня освоения огромной литературы, а также жертв. Этот проект является конечным продуктом мое-*

го интеллекта и знаний». В своем завещании Евгений просил, чтобы *«мини-хромосомы были изображены на надгробном камне»*.

Научная судьба Евгения Витальевича Ананьева воистину символична. Он начал свою научную деятельность с измерения длины хромосом по фотографиям с помощью обычной линейки, а закончил сборкой искусственной хромосомы из отдельных строительных блоков. Его путь отражает тот колоссальный прогресс, который проделала биология за последние 40 лет: от простых методов выделения ДНК до определения тонкой структуры генов и компьютерного анализа миллиардов единиц генетической информации, кодирующей целые геномы. ■

Литература

1. Georgiev G.P., Ilyin Yu.V., Ryskov A.P. et al. // Science. 1977. V.195. P.394—397.
2. Ananiev E.V., Gvozdev V.A., Ilyin Yu.V. et al. // Chromosoma. 1978. V.70. P.1—17.
3. Ilyin Yu.V., Tchurikov N.A., Ananiev E.V. et al. // Cold. Spr. Harb. Symp. Quant. Biol. 1978. V.42. P.959—969.
4. Potter S.S., Brorein W.J., Dunamuir P., Rubin G.M. // Cell. 1979. V.17. P.415—427.
5. Strobel E., Dunamuir P., Rubin G.M. // Cell. 1979. V.17. P.429—439.
6. Venter J.C. A Life Decoded. Penguin Books. 2007.
7. Pennisi E. // Science. 2007. V.317. P.894—895.

Новости науки

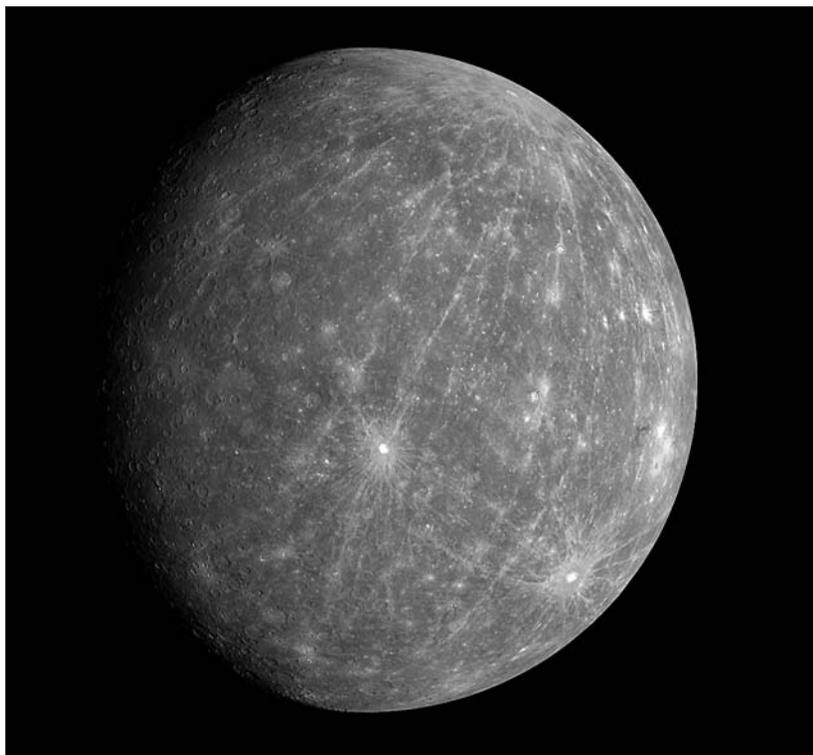
Космические исследования

Второй пролет «Мессенджера» вблизи Меркурия

В октябре 2008 г. американский межпланетный аппарат «Messenger» (НАСА) во второй раз сблизился с планетой Меркурий и передал на Землю снимки ранее не наблюдавшихся областей этой планеты¹.

Ближайшая к Солнцу планета Меркурий — одна из самых малоисследованных. Наблюдениям Меркурия с Земли в телескоп очень мешает яркий солнечный свет. А полеты автоматических зондов к Меркурию осложнены многими техническими проблемами. До недавнего времени единственным аппаратом, достигшим окрестностей Меркурия, был американский зонд «Mariner-10» (НАСА). В 1974 г. он был выведен на орбиту спутника Солнца и в 1974—1975 гг. трижды сблизился с Меркурием, передавая на Землю фотографии одного его полушария. По существу, все основные данные о физике планеты и ее внешности были получены в ходе этих сближений. Разумеется, в течение следующих трех десятилетий наземные эксперименты — как оптические, так и радиолокационные — не прекращались, но качество полученных результатов было несравненно ниже тех, которые может передавать сближающийся с планетой зонд.

Следующим исследователем Меркурия стал зонд «MESSENGER» (MErcury Surface, Space ENvironment, GEOchemistry and Ranging), запущенный НАСА 3 августа 2004 г. Чтобы направить аппарат к Мерку-



Изображение поверхности Меркурия, полученное зондом «Messenger» 6 октября 2008 г. с высоты 27 тыс. км. Снимок сделан широкоугольной камерой с фильтром 430 нм. Разрешение на поверхности около 5 км на пиксел. Чуть южнее (ниже) центра снимка светлый кратер Койпер. Половина диска планеты к востоку (вправо) от него впервые наблюдается с близкого расстояния.

Фото: NASA / J. Hopkins University Applied Physics Laboratory / Carnegie Institution of Washington

рию, было предпринято несколько гравитационных маневров в поле Земли и Венеры. Сначала зонд сблизился с Землей (2 августа 2005 г.), затем дважды — с Венерой (24 октября 2006 г. и 5 июня 2007 г.) и в результате этого вышел на орбиту, ведущую к Меркурию. Первый пролет над поверхностью Меркурия аппарат совершил 14 января 2008 г., сделал с высоты около 200 км множество снимков тех областей планеты, которые никогда ранее не наблюдались с близкого расстояния и о которых

астрономы практически не имели представления. Второй пролет мимо Меркурия «Messenger» совершил 6 октября 2008 г. на минимальном расстоянии от поверхности — в 200 км. Третий пролет ожидается 29 сентября 2009 г., а 18 марта 2011 г. аппарат должен выйти на околополярную орбиту вокруг Меркурия, т. е. стать его первым искусственным спутником.

© Сурдин В.Г., 2008

кандидат физико-математических наук
Москва

¹ <http://messenger.jhuapl.edu>

Астрономия

Три возраста звездного скопления NGC 6791

Скопление NGC 6791 в созвездии Лиры — одно из самых старых и крупных среди известных рассеянных скоплений. Оно содержит несколько тысяч звезд и обладает очень высоким содержанием тяжелых элементов. Довольно большое расстояние (4–5 кпк) делает это скопление сложным объектом для наблюдения, тем не менее Л.Бедин из Института космического телескопа (США) и его коллеги смогли с помощью космического телескопа «Hubble» «добраться» даже до самых тусклых звезд NGC 6791.

Точнее говоря, объектом исследования стали белые карлики этого скопления — остатки солнцеподобных звезд, в которых закончились термоядерные реакции¹. На протяжении миллиардов лет эти оголенные звездные ядра, постепенно угасая, теряют остаточное тепло. Тускнеющие белые карлики довольно часто используются как надежное средство для оценки возрастов звездных скоплений. Предполагается, что звезды в рассеянном скоплении образуются одновременно, поэтому средняя яркость белых карликов в нем является мерой того, насколько давно это произошло.

В скоплении NGC 6791 все оказалось не совсем так, как ожидалось: в распределении его белых карликов по светимости наблюдаются два максимума вместо одного, словно звезды скопления рождались два раза, а не один. По теоретической скорости остывания белых карликов авторы работы определили, что возрасты двух групп этих объектов в NGC 6791 составляют примерно 4 и 6 млрд лет. Кроме того, оба возраста сильно расходятся с возрастом «нормальных» звезд скопления, который, по оценкам авторов, составляет около 8 млрд лет.

¹ Bedin L., King I.R., Anderson J. // *Astroph. J.* 2008. V.678. P.1279–1291; Bedin L., Salariis M., Piotto G. // *Astroph. J. Letters*. 2008. V.679. PL29–L32.

Тщательно проанализировав результаты наблюдений, исследователи пришли к выводу, что расхождение возрастов двух групп белых карликов можно объяснить, допустив их двойственность. Если примерно треть белых карликов скопления на самом деле двойные, то при наблюдениях с большого расстояния они будут казаться одним карликом, но более ярким и, следовательно, более молодым, чем каждый из карликов пары. Обычные двойные звезды составляют значительную часть обычного звездного населения скопления NGC 6791, но до сих пор двойные белые карлики ни в этом, ни в каком-либо другом скоплении не наблюдались. Это не означает, конечно, что их нет, поэтому объяснение Бедина и его коллег кажется вполне реалистичным; к сожалению, оно относится только к возрастам двух групп белых карликов и не проливает свет на разницу между возрастом карликов и обычных звезд.

Стоит отметить, что за последние 40 лет оценки возраста скопления NGC 6791, полученные различными методами, варьировались от 5 до 12 млрд лет. Так что не исключено, что нынешнее расхождение связано просто со значительной неопределенностью оценки возраста скопления.

© **Вибе Д.З.**,

доктор физико-математических наук
Москва

Планетология

Следы воды на Луне

Уже несколько десятилетий отделяют нас от лунных экспедиций, но исследование доставленного ими лунного грунта по-прежнему приносит интересные научные результаты. Об одном из них сообщила группа ученых из США под руководством А.Саала (A.Saal; Университет Брауна). Авторы работы занимались исследованием застывших капелек вулканического стекла, которые были доставлены на Землю в 1971 г. экспедицией «Apollo-15» из места с поэтичес-

ким названием Болото Гниения, расположенного в районе лунного Моря Дождей.

Методом вторичной ионной масс-спектропии исследователи определили содержание в расплавленных лунных породах некоторых летучих соединений, в том числе углекислого газа и воды. До сих пор все попытки найти воду в лунном грунте успеха не достигали, что привело к выводу о полной «сухости» Луны. Однако совершенствование техники позволило существенно повысить точность измерений, и теперь никаких сомнений не осталось: при точности измерений 5 ppm содержание воды в стеклянных шариках оказалось равным примерно 46 ppm.

Эта величина — лишь нижняя граница, и до метеоритного удара, выбросившего это вещество на поверхность Луны, воды в нем сохранилось, безусловно, больше. Опираясь на данные о дегазации земных горных пород, Саал и его коллеги оценили, что исходное содержание воды в глубинных породах Луны достигало 750 ppm, причем эта величина относится не к поверхности, а к недрам нашего спутника. Примерно столько же воды содержится в примитивной магме, которая выходит на дно океана в зоне срединно-океанических хребтов. Иными словами, внутри Луны могло находиться столько же воды, сколько в верхней мантии Земли. Это открытие свидетельствует, что вода была на Луне с самого начала ее существования.

Сейчас популярна гипотеза, согласно которой Луна образовалась почти 4.5 млрд лет назад в результате катастрофического столкновения молодой Земли и планетоида размером с Марс. Результаты Саала не то чтобы противоречат этой гипотезе, но, по крайней мере, указывают на необходимость ее доработки. До сих пор считалось, что в процессе столкновения все летучие соединения должны были полностью испариться из прото-Луны. Теперь выясняется, что это не так. Р.Кенап (R.Canup; Юго-Западный исследовательский

институт, США), одна из авторов гипотезы о происхождении Луны в результате столкновения, считает, что летучие соединения могли сохраниться, например, в том случае, если Луна в значительной степени сформирована из уцелевших фрагментов планетоида, которые были слишком велики, чтобы полностью прогреться при ударе. Не исключено также, что «засорение» недр Луны водой произошло в первые десятки миллионов лет после ее образования в результате метеоритной бомбардировки.

Nature. 2008. V.454. P.192 (Великобритания).

Физика

Безмедные ВТСП

В 2008 г. группа под руководством Х.Хосоно (H.Hosono; Токийский технологический институт, Япония)¹ синтезировала качественно новый, не содержащий меди, сверхпроводник — $\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ ($T_c = 26 \text{ K}$). Он имеет слоистую структуру, а сверхпроводимость у него появляется при изменении концентрации носителей (за счет замещения части атомов кислорода атомами фтора) — все, как у купратных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Поначалу специалисты не проявили должного интереса к этому событию, предполагая возможность ошибки, однако вслед за $\text{LaO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ последовали, причем лавинообразно, другие безмедные ВТСП. Стало понятно, что открыт не единственный новый сверхпроводник, а целое «сверхпроводящее семейство», причем критическая температура по мере открытия новых ВТСП каждый раз оказывалась все более высокой: 43 K у $\text{SmO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$, 52 K у $\text{PrO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$, а затем 55 K в $\text{SmO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ (его синтезировали при высоком давлении).

Конечно, как и после открытия в 1986 г. купратных ВТСП, все надеются достичь комнатной T_c . О механизме сверхпроводимости говорить пока рано, но тщательный сравнительный анализ свойств куп-

¹ Kamibara Y. et al. // J. Am. Chem. Soc. 2008. V.130. P.2396.

ратных и безмедных ВТСП безусловно поможет лучшему пониманию и тех, и других. Однако, как и 20 лет назад, сначала свое слово должны сказать материаловеды: для исследований требуются образцы высокого качества.

Science. 2008. V.320. P.432–433 (США); <http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.8).

Физика

Квантовый спиновый эффект Холла

Наконец удалось наблюдать в эксперименте давно предсказанный теоретиками спиновый эффект Холла². Для его возникновения не требуется внешнего магнитного поля. Различают два типа этого эффекта: внутренний и внешний. Внешний возникает в результате анизотропии рассеяния электронов на кулоновских центрах, вызванной спин-орбитальным взаимодействием. При протекании тока электроны со спином вверх относительно плоскости, в которой перемещаются заряды, преимущественно рассеиваются направо, а электроны со спином вниз — налево, так что на боковых краях возникает избыток электронов с соответствующим спином аналогично избыточному заряду при обычном эффекте Холла. Внутренний спиновый эффект Холла обусловлен анизотропией движения электронов с разной ориентацией спина в кристалле.

После обнаружения классического спинового эффекта Холла возник вопрос о существовании квантового спинового эффекта Холла, аналогичного знаменитому квантовому эффекту Холла — когда несколько подзон Ландау полностью заполнены и наблюдается ступенька на холловском токе, вдоль краев структуры течет незатухающий зарядовый ток. Отсутствие затухания вызвано тем, что электроны не переходят в верхние подзоны Ландау, поскольку не могут преодолеть энергетический зазор. В случае квантового спинового эффекта Холла вдоль краев дол-

² Nagaosa N. // Science. 2007. V.318. P.758–759.

жен возникать незатухающий спиновый ток. На этом аналогия прерывается, поскольку заряд — величина квантованная, а проекция спина — величина непрерывная.

Существование незатухающего спинового тока могло бы оказать хорошей находкой для спинтроники. Ясно, что этот эффект не может быть обусловлен внешним спиновым эффектом Холла, поскольку рассеяние на примесях неизбежно приводит к диссипации. Одного внутреннего механизма тоже недостаточно — надо обеспечить сохранение спина при протекании спинового тока.

Теоретики предложили использовать спиновый изолятор — новое состояние материи, которое может возникать в результате спин-орбитального взаимодействия, приводящего к возникновению запрещенной зоны. Возможно, переход к такому состоянию происходит в гетероструктурах узкозонных полупроводников, например $\text{CdTe}/\text{HgTe}/\text{CdTe}$. В режиме спинового изолятора нижняя зона заполнена электронами только с одной ориентацией спина, между ней и другой зоной имеется щель. Зарядовый ток течь не может, а спиновый — пожалуйста, причем незатухающий! Последние эксперименты³ показали возможность существования спинового изолятора и рассмотренных краевых состояний в спиновом эффекте Холла.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.1/2).

Физика

Сверхпроводящая щель и аномалии Кона в монокристаллах Рь и Nb

Исследователи из Германии и США методом резонансной нейтронной спектроскопии спинового эха определили сверхпроводящую щель Δ в двух низкотемпературных сверхпроводниках — монокристаллах Рь и Nb ($T_c = 7.2$ и 9.3 K соответственно). Оказа-

³ König M. et al. // Science. 2007. V.318. P.766–770.

лось, что $2\Delta(0)$ в точности совпадает с энергией, при которой имеет место первая из так называемых аномалий Кона (они связаны с резким уменьшением времени жизни фононов), не имеющих отношения к сверхпроводимости и определяющихся только геометрией поверхности Ферми и скоростью звука¹. Если бы такой эффект наблюдался только в каком-то одном сверхпроводнике, это можно было бы считать случайностью. Однако данный результат получен для двух соединений, у которых разные величины Δ , фононные спектры и форма поверхности Ферми. Физическая причина такого совпадения пока неясна.

<http://perst.ispp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.8).

Физика

Атомный карандаш. Он же ластик

Оксиды со структурой перовскита демонстрируют самые разнообразные свойства — сегнетоэлектричество, колоссальное магнитосопротивление, высокотемпературную сверхпроводимость и т.д. Граница раздела между двумя такими оксидами может быть как проводящей, так и диэлектрической — в зависимости от типа формирующих ее атомных слоев.

Недавно группа исследователей из США и Германии показала, что на такой границе можно «рисовать» проводящие участки, а затем при необходимости «стирать» их, как ластиком². Функцию карандаша исполняла игла атомно-силового микроскопа, роль бумаги — граница раздела между диэлектриками SrTiO₃ и LaAlO₃ (подложка SrTiO₃ заканчивалась слоем TiO₂, а толщина пленки LaAlO₃ составляла три периода элементарной ячейки *c*). Такая граница не проводит электрический ток, но если подать на иглу положительное напряжение, при ее движении вдоль поверхности пленки от одного электрода к другому между ними

начинает протекать ток — формируется проводящая дорожка. Если теперь приложить к игле отрицательное напряжение и пересечь ею дорожку в перпендикулярном направлении, проводимость исчезнет — дорожка окажется «разрезанной». Достаточное для этого перемещение иглы (≈ 3 нм) дает оценку характерной ширины проводящей дорожки.

Возможно, данный эффект обусловлен инжекцией электронов из иглы и(или) смещением электрического заряда при ее воздействии. Однако определенную роль может играть и адсорбция кислорода или других анионов. Интересно, что в экспериментах с пленками LaAlO₃ толщиной в две и четыре элементарные ячейки подобных результатов добиться не удалось.

При надлежащем развитии данная методика может пригодиться при разработке наноэлектронных устройств.

<http://perst.ispp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.9).

Физика

Измеряем намагниченность отдельных атомов

Ожидается, что наноструктуры, состоящие из нескольких магнитных атомов (адатомов) на немагнитной подложке, позволят существенно уменьшить размеры запоминающих устройств, а также найдут применение в спинтронике и квантовых вычислениях. Кроме того, они представляют интерес с точки зрения фундаментальных исследований магнитных взаимодействий на атомном масштабе. Для определения характеристик таких наноструктур необходимо разработать соответствующие экспериментальные методики.

Ф.Мейер (Корнеллский университет, США) с коллегами представили результаты измерения намагниченности отдельных адатомов (M_A) кобальта на поверхности Pt(111) с помощью сканирующего туннельного микроскопа со спинопляризованной иглой³. Найти за-

висимость M_A от индукции магнитного поля B исследователям в конечном итоге помог тот факт, что на дифференциальную проводимость контакта игла—адатом влияет намагниченность отдельных адатомов.

<http://perst.ispp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.9).

Физика. Электроника

Ферротороидные домены: новый вид памяти?

Недавнее сообщение о наблюдении доменов нового типа — ферротороидных⁴ — вызвало огромный интерес в среде специалистов и бизнесменов, связанных с индустрией компьютерной памяти. В распространенных ныне элементах записи информации — магнитных доменах — состояние «0» или «1» определяется разной намагниченностью, в ферротороидных же оно задается ориентацией вектора тороидного момента, характеризующего спонтанный дальний порядок особого типа. Кроме того, ферротороидики обладают магнитоэлектрическими свойствами, т.е. под воздействием электрического поля в них появляется магнитный момент (и наоборот), что также можно использовать для считывания информации.

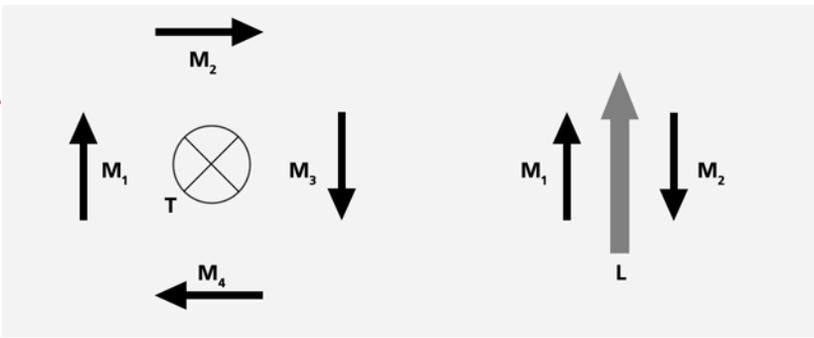
Геометрическим представлением тороидного момента \mathbf{T} служат четыре иона тетрагональной кристаллической ячейки с магнитными моментами $\mathbf{M}_1 \div \mathbf{M}_4$. Магнитное поле системы во внешнем пространстве равно нулю, так же как у катушки с током, замкнутой на себя и образующей «бублик» — тор (отсюда и название момента). Кстати, именно из-за этого обстоятельства попытки обнаружить ферротороидное упорядочение до сих пор к успеху не приводили: сделать это с помощью традиционных магнитных или магнитооптических методов очень сложно. В то же время свойство ферротороидов не создавать магнитных полей — одно из их главных пре-

⁴ Aken B.B. van et al. // Nature. 2007. V.449. P.702—705.

¹ Aynajian P. et al. // Science. 2008. V.319. P.1509—1512.

² Cen C. et al. // Nature Mater. 2008. №7. P.298—302.

³ Meier F. et al. // Science. 2008. V.320. P.82.



Разные виды упорядочения в твердых телах: слева — тороидное упорядочение спинов ($M_1 \div M_4$ — магнитные моменты атомов, T — вектор тороидного момента); справа — антиферромагнитное (M_1, M_2 — магнитные моменты атомов, $L = M_1 - M_2$ — вектор антиферромагнетизма).

имущества. Действительно, в традиционной магнитной записи поля размагничивания, создаваемые одним доменом, воздействуют на соседние домены, что может привести к неконтролируемому перемагничиванию и утере информации. Это рассматривается как лимитирующий фактор при увеличении плотности записи информации в магнитной памяти. Ферротороидная память от такого рода ограничений свободна.

В силу своего вихреобразного характера ферротороидное упорядочение весьма напоминает антиферромагнитное (оно образовано двумя магнитными подрешетками, полностью компенсирующими магнитный момент друг друга). Его также долгое время не удавалось наблюдать; изображения антиферромагнитных доменов с помощью нелинейного магнитооптического эффекта — генерации магнитоиндуцированной второй гармоники — были получены в 1995 г. Домены с противоположным направлением антиферромагнитного момента дают противоположные по знаку вклады в сигнал на второй оптической гармонике, благодаря чему становятся видимыми доменные границы.

Ферротороидное упорядочение тоже должно давать вклад во вторую гармонику, причем его симметричные свойства отличаются от антиферромагнитного вклада, а значит, ферротороидные домены поляризуют свет по-другому. Соответствующим подбором

поляризаций падающей и отраженной волн на второй гармонике удалось получить изображение, на котором видны дополнительные области, соответствующие ферротороидному типу упорядочения. Несмотря на то что во многих областях образца границы доменов обоих типов совпадают, различить их возможно: ферротороидные домены образуют независимые области, границы которых проходят внутри антиферромагнитных доменов.

Итак, ферротороидные домены, несмотря на то что не создают во внешнем пространстве магнитного поля, перестали быть «вещью в себе», по крайней мере их можно видеть. Теперь нужно научиться записывать в них информацию. Следующим шагом на пути создания новой компьютерной памяти должно стать переключение доменов в «тороидном» поле, которое можно осуществить, например, одновременным приложением магнитного и электрического полей под прямым углом друг к другу.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2008. Т.15. Вып.1/2).

Электроника

Магниты для молекулярной спинтроники

Путь от фундаментальных исследований до первых работающих приборов спинтроники прошла за рекордно короткий (даже

для науки XXI в.) срок — примерно за 10 лет. Вот лишь некоторые ее преимущества перед обычной электроникой: информация, носителем которой служат спины электронов, сохраняется и после выключения устройства; для ее обработки не требуются магнитные поля, а для записи достаточно незначительных затрат энергии¹.

В настоящее время активно изучается возможность замены металлов как компонентов спинтронных устройств на полупроводники и диэлектрики. Последние уже сейчас используются в устройствах молекулярной электроники (транзисторах и светодиодах). На базе концепций и достигнутых молекулярной электроники и спинтроники зародилась молекулярная спинтроника². Ее основной элемент — магнитные молекулы, или одномолекулярные магниты, которые, несмотря на малые размеры, близки по характеристикам к объемным магнитным материалам. Магнитные молекулы привлекательны для хранения информации с очень высокой плотностью и (благодаря большим временам декогерентизации) для квантовых вычислений. В качестве одномолекулярных магнитов могут быть использованы и фуллерены с внедренными в них магнитными атомами.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.6).

Химия. Физика

Углеродные нанотрубки сворачиваются змейкой

Углеродные наноструктуры продолжают удивлять многообразием форм. Наряду с обычными сфероидами фуллеренами и многослойными нанотрубками существуют стручки (однослойные нанотрубки, заполненные молекулами фуллеренов, которые,

¹ Спинтроника предлагает... // Природа. 2001. №12. С.72; Магнитнорезистивная память с произвольной выборкой // Там же. 2004. №12. С.75; Кремниевая спинтроника // Там же. 2007. №10. С.78—79; Еще раз про кремниевую спинтронку // Там же. 2008. №3. С.79—80.

² Bogani L., Wernsdorfer W. // Nature Mater. 2008. V.7. P.179—186.

в свою очередь, могут быть заполнены одним или несколькими атомами), структуры луковичные (вложенные друг в друга сферойды) и бамбукоподобные (многослойные нанотрубки непостоянного радиуса). И вот недавно израильские ученые из Вейцмановского института (г.Реховот) наблюдали самопроизвольное сворачивание нанотрубок в змейку¹.

Однослойные нанотрубки диаметром от 0.8 до 4 нм выращивали методом химического осаждения паров на подложке из аморфного диоксида кремния. Анализ микрофотографий, полученных с помощью сканирующего электронного и атомного силового микроскопов, показал, что змеевидные структуры обычно отрастают от полосок аморфного SiO₂ в виде прямого отрезка, направление которого соответствует направлению газового потока. После короткого переходного участка, на котором структура неупорядочена, она приобретает все более регулярную форму.

Длина змейки меняется от 20 до 1000 мкм, ширина — от 3 до 10 мкм, расстояние между параллельными участками (шаг) — от 0.5 до 8 мкм, в отдельных случаях — от 75 до 100 нм. Наблюдается корреляция между шагом змеевидной структуры и диаметром образующей нанотрубки. На некоторых фотографиях видно небольшое утолщение и уплотнение змейки в области хвоста. На конце нанотрубок обычно бывают наночастицы катализатора — это указывает на вершинный механизм роста нанотрубок.

Наблюдения показали, что форма змейки сильно зависит от скорости и направления потока газа. Повышение скорости подачи газа с 250 до 1000 см³/с и далее (при нормальных условиях) приводит к увеличению расстояния между параллельными участками змейки с 0.8 до 4 мкм и последующему выпрямлению нанотрубок в направлении потока. Если изменять направление потока газа относительно полосок оксида крем-

ния, при некоторых углах возникает дополнительная ориентация угла изгиба сегментов змейки относительно общего направления ее роста.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.8).

Биология

У слепых рыб потомство бывает зрячим

В разных пещерах на северо-востоке Мексики обитают 29 популяций слепых рыб *Astyanax mexicanus*. Поскольку пещеры не связаны друг с другом, за время изолированного развития популяции могли накопить разные мутации, приведшие к утрате зрения, и, значит, отличаться генетически.

Американские биологи под руководством Р.Боровски (R.Вогоски; Нью-Йоркский университет) провели количественный генетический анализ, из результатов которого следует, что слепота пещерных рыб обусловлена многими мутациями в генах, связанных со зрительной системой. Чтобы понять, одинаково ли эволюционировали популяции, исследователи осуществили скрещивание рыб из разных пещер. При одном и том же эволюционном пути популяций их гибридное потомство тоже должно быть незрячим. Но среди гибридных мальков оказались такие, у которых в той или иной степени зрение сохранилось; в одном из вариантов скрещивания число зрячих составило примерно 40%. В некоторых генных участках авторы исследования обнаружили различия между популяциями пещерных рыб. Судя по результатам анализа, слепота возникала независимо и по крайней мере трижды в процессе эволюции.

Появление большого количества мутаций в разных локусах и дальнейшее накопление в изолированных популяциях привели биологов к мысли, что гибридизация может быть способом восстановления утраченных зрительных функций.

Current Biology. 2008. V.18. №1. P.R23—R24 (Международный журнал).

Зоология

Примитивное вторичноротое

В начале XX в. шведский зоолог С.Бок нашел в прибрежных водах Скандинавии необычное червеобразное беспозвоночное, которое много позже было названо ксенотурбеллой Бока (*Xenoturbella bocki*). Вплоть до недавнего времени большинство зоологов относили ее к плоским червям. По организации ксенотурбелла была в какой-то степени похожа на некоторых бескишечных турбеллярий: у тех и других нет анального отверстия и органов выделения, слабо развит глотка, нервная система имеет вид диффузного кожного сплетения и лишена мозга. Смуцало строение кожного эпителия *X.bocki*, более всего напоминающее покровы полухордовых, а также необычный орган равновесия, похожий на статоцисты некоторых голотурий. Однако попытки сблизить ксенотурбеллу с вторичноротыми долго вызывали резкую критику коллег. Учитывая необычное строение *X.bocki*, А.В.Иванов и Ю.В.Мамкаев в 1975 г. выделили ее в отдельный класс плоских червей.

Проведенный в конце 1990-х годов молекулярный филогенетический анализ принес сенсационные результаты: ксенотурбелла — это... двустворчатый моллюск! Спустя несколько лет эти данные были опровергнуты: оказалось, что ксенотурбеллы питаются яйцами и личинками двустворчатых моллюсков, из непереваренных остатков которых и была по ошибке выделена ДНК. Тем не менее новый молекулярный анализ оказался тоже сенсационным, хотя и не был неожиданным: *X.bocki* принадлежит к вторичноротым и может быть выделена в отдельный тип — Xenoturbellida². Согласно этим данным, ксенотурбеллиды принадлежат к той же эволюционной ветви, что и полухордовые и иглокожие, в то время как другая эволюционная ветвь ведет к хордовым и оболочникам. Одна-

² Bouwlat S.J. et al. // Nature. V.444. P.85—88.

¹ Geblinger N. et al. // Nature Nanotech. 2008. V.3. P.195—200.

ко оставалось неясным, насколько у ксенотурбеллид сохранились черты предков вторичноротых. Не является ли их чрезвычайно простое строение следствием упрощения? И вот недавно группа ученых из Германии, Швеции и Мексики, похоже, приблизилась к разгадке¹, изучив гены группы Нох, которые существуют у всех многоклеточных животных и определяют общий план строения тела (установление его переднего и заднего концов, разделение на отделы, и т.д.).

Оказалось, что у *Xbocki* всего пять Нох-генов, хотя ранее предполагалось, что у предков вторичноротых должно быть не менее восьми. Авторы пришли к заключению, что ксенотурбелла едва ли могла утратить часть Нох-генов и, по-видимому, ее примитивное строение не стало следствием сильного упрощения организации. Скорее всего, этот организм стоит в основании филогенетической ветви вторичноротых и, возможно, сохранил черты их червеобразных предков. Если это действительно так, то подтверждается гипотеза независимого происхождения сквозного кишечника, целома и мозга у первично- и вторичноротых животных и, следовательно, очень раннего разделения этих двух эволюционных ветвей.

© Чернышев А.В.,

доктор биологических наук,
Владивосток

Орнитология

Новая форма серого журавля в Армении

В мае 2008 г. российский орнитолог В.Ильяшенко совместно с президентом Армянского общества охраны птиц М.Касабяном специально изучали серых журавлей на территории Армении, вблизи границ с Турцией и Грузией.

Серый журавль — хорошо известная крупная птица серого цвета с красной шапочкой-«коронкой» на голове. Он гнездится в Европе и азиатской части России;

¹ *Fritzsche G. et al. // J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.) 2008. V.310B. P.278—284.*

две изолированные группировки — в Тибете и на Кавказе. Обычно выделяют два подвида: западный (европейский) — более крупный и темный, и восточный (азиатский). Птиц из Тибета и Кавказа, несмотря на то что они гнездятся на расстоянии нескольких тысяч километров от ареала восточного подвида, относят именно к этой форме.

На территории Армении орнитологи обнаружили всего две пары серых журавлей. Их гнезда располагались на небольших болотах на высоте 2200 м над ур.м. Птенцы и взрослые птицы имели принципиальные отличия как от западных, так и от восточного подвида. Главные, хорошо заметные на расстоянии, отличия взрослых птиц — отсутствие красной «короны» и наличие яркого белого пятна за глазом.

Самке, которую поймали на гнезде, надели белое кольцо с черным номером 210 на правую ногу и стандартное металлическое кольцо А 223099 — на левую. У птицы взяли образцы крови для проведения генетических анализов.

На основании внешних различий исследователи описали эту форму журавля. Является ли она новым видом или это новый подвид серого журавля, покажут дальнейшие исследования. В любом случае обнаружение новой формы крупной птицы в наше время — сенсационное событие. Известно, что еще в начале XX в. в Закавказье — Северо-Западном Иране, Северной Турции, Восточной Грузии и Юго-Западной Армении — на высоте от 1000 до 2500 м над ур.м. гнездились тысячи журавлей. Однако, согласно последним данным, в Иране этот журавль вообще перестал гнездиться, в Грузии еще, возможно, обитает несколько пар, а в Турции сохранилось около 200—250 пар. Территории, пригодные для гнездования, осушают и возделывают под сельхозугодия. Прощает браконьерство. Перспективы исчезновения новой формы журавля в Закавказье весьма высоки.

<http://www.rbcu.ru/news/rbcu/1192007.html>

Морская геология

Очаги образования нефти и газа в Черном море

В основе работы, которую провели сотрудницы Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН Ю.М.Берлин и М.М.Марина, лежит качественная оценка генерации нефтяных и газовых углеводородов в олигоцен-нижнемиоценовых отложениях Черного моря. При этом они использовали историко-генетический метод, разработанный в том же институте применительно к акваториям.

В Черноморском регионе в качестве основной нефтегазоматеринской и нефтегазосодержащей толщи выделена майкопская свита — олигоцен-нижнемиоценовые отложения, для которых составлены карты распределения типов органического вещества и распределения температур. На основе их анализа авторами впервые для большей части Черноморского региона была построена схематическая карта нефтегазогенетического районирования. На ней оговорены очаги нефте- и/или газообразования с их подразделением на зоны генерации углеводородов разного фазового состава в зависимости от типа органического вещества и температурных условий.

В западной части Черного моря распределение очагов значительно проще, чем в восточной. Основную часть очага там занимает зона высокотемпературного газообразования — более 180°C независимо от органического вещества. С запада, юга и юго-востока ее окаймляют узкие зоны завершеного и начального нефтеобразования (температуры соответственно 135—180 и 70—135°C, а тип органического вещества сапропелевый). На юго-восточной окраине выделяется Синопский прогиб, где на небольшой площади, по-видимому, существует очаг начальной генерации нефтяных и газовых углеводородов (температуры не более 100°C, тип органического вещества сапропелево-гумусовый). На обширной территории северо-западного шельфа

отмечен очаг в пределах Михайловского прогиба, находящийся в начальной стадии генерации нефтяных углеводородов. Западно-Черноморскую впадину и Синопский прогиб отделяют от Восточно-Черноморской впадины вала Андрусова и Архангельского. С запада и востока вал Андрусова окаймляют зоны заверщенного нефтеобразования.

Большую часть Восточно-Черноморской впадины и Гурийского прогиба занимает очаг высоко-температурного газообразования. На северо-восточной периферии Черноморского региона в пределах Индоло-Кубанского и части Керченско-Таманского прогибов выделяется в подходе майкопской свиты довольно крупный очаг, состоящий из зон начальной и завершенной генерации углеводородов различного типа. В прогибах Туапсинском, Сорокина и значительной части Керченско-Таманского выделить очаги с отдельными зонами генерации нефти и газа невозможно вследствие высоких локальных температур.

Большой интерес представляет собой распределение зон в очагах нефтегазообразования на обрамлениях глубоководного вала Шатского и в пределах самого вала. Ряд тамошних структур могут быть по сейсмическим данным первоочередными объектами для поисково-разведочных работ на нефть и газ. На северо-восточном окончании вала Шатского в западном и юго-западном направлениях от Туапсинского прогиба происходит последовательная смена зоны высоко-температурного газообразования на зону заверщенного нефтеобразования и зону начального нефте- и газообразования.

Сопоставление прогнозируемых очагов образования углеводородов с другими известными предпосылками нефтегазоносности позволяет, по мнению авторов, обозначить перспективные направления поиска нефти и газа в Черноморском регионе.

Геология морей и океанов.
Материалы XVII Международной конференции (Школы) по морской геологии. М., 12–16 ноября 2007 г. С.90–91.

История науки. Геофизика

Полвека Международному геофизическому году

Основные результаты климатологических исследований за последние 50 лет, прошедших после Международного геофизического года (1957–1958), проанализировали И.Л.Кароль и А.А.Киселев (Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова).

За прошедшие полвека развитие наук о Земле в целом и климатологии, в частности, определили три ключевых момента: революционный прорыв в области компьютерной техники; применение в метеорологии искусственных спутников Земли; объединение международных усилий в изучении окружающей среды и ее охраны. Необычайно быстрый прогресс вычислительной техники привел к возникновению численного математического моделирования в метеорологии: стало возможным воспроизводить экстремальные ситуации в атмосфере и прогнозировать эволюцию климата на десятки и сотни лет, используя различные математические модели, — по сути, это единственный инструмент исследования явлений, пока не поддающихся натурным наблюдениям. Были уточнены решения систем гидродинамических уравнений для реализации задач общей циркуляции атмосферы, долго- и краткосрочных прогнозов погоды; сопоставлялись различные модели и решения с целью выбора оптимальных по точности и экономическим затратам.

Спутниковые измерения метеорологических параметров были начаты еще в 1960–1970-х годах с помощью систем СССР и США. Благодаря использованию новой аппаратуры удалось существенно увеличить состав фиксируемых элементов: со спутников получены глобальные данные о влажности почвы, радиационных свойствах облачности, газовом и аэрозольном составе атмо-

сферы, об осадках в Мировом океане; в последние годы измерены параметры тонкого приземного и приводного слоев атмосферы, содержание парниковых газов. Составлены архивы полученной информации и программы их статистической обработки.

Первым после МГГ глобальным проектом изучения атмосферы стал в 1960-х годах ПИГАП — проект исследований глобальных атмосферных процессов, а также его подпрограмма ТРОПЭКС — тропический эксперимент. В этих работах, проводившихся в различных районах земного шара и Мирового океана, участвовали около десятка научно-исследовательских кораблей и самолетов-лабораторий СССР, США и европейских стран. Были получены обширные материалы измерений и наблюдений, объединенные в массивы глобальной гидрометеорологической информации. С конца 1970-х годов реализуется Всемирная программа исследования климата (ВПИК). В ее рамках осуществлены экспедиции по изучению процессов взаимодействия океана и атмосферы, выполнены исследования тропической части Тихого океана в связи с явлением Эль-Ниньо, рассмотрены отдельные составляющие климатической системы планеты и их взаимосвязь. В конце 1980-х годов приступила к работе Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Ее основная задача состоит в составлении трехтомных обзоров, в которых рассматриваются конкретные данные по климату, последствия его изменений и рекомендации по ликвидации и смягчению этих последствий. Четыре таких обзора (последний — в 2007 г.) содержат достаточно глубокий анализ состояния проблемы и указывают на антропогенные причины наблюдаемого глобального потепления. Деятельность МГЭИК получила международное признание в виде присуждения Нобелевской премии мира 2007 г.

© Померанец К.С.,
кандидат географических наук
Санкт-Петербург

Пресную воду — на экспорт

По запасам пресной воды Россия занимает второе место в мире. Но и водопотребление на душу населения в России значительно: 300—400 л/сут, что превышает показатели многих развитых стран (США — 320, Англия — 170, Япония — 125, Финляндия — 58 л/сут). В обозримом будущем пресная вода может частично заменить в российском экспорте нефть и газ.

В.А.Румянцев и А.И.Сорокин (Институт озероведения РАН) рассматривают один из возможных путей рационального использования водных ресурсов в качестве предмета внешней торговли. Особую роль в решении данной проблемы они отводят Ладожскому озеру.

На примере Ладоги рассмотрены пути реализации пресной воды как товара. Это озеро перспективно вследствие ряда факторов: близость к вероятным потребителям воды — странам Европы, высокое качество воды, равномерный годовой сток. Немаловажное значение имеет хорошая изученность озера. Забор воды предлагается производить непосредственно из озера, из наиболее чистых его районов, а не из Невы, которая сильно загрязнена.

Следует отметить, кстати, что на очистку невской воды для снабжения Петербурга тратятся огромные средства, хотя почти 100 лет назад было начато строительство трубопровода прямо из Ладоги в районе Осиновецкого маяка. Есть основания развивать проект непосредственной переброски ладожской воды в город и продолжить строительство.

В проблеме экспорта водных ресурсов авторы рассматривают и трудности, которые необходимо будет преодолеть. Основная сложность состоит в сохранении качества воды в течение длительного срока (приводятся способы обеззараживания и консервации воды). Кроме того, существует опасность загрязнения источников воды

в связи с большой площадью водосборного бассейна и его расположением на территории трех государств (России, Финляндии, Белоруссии) и семи федеративных образований (Ленинградской, Новгородской, Псковской, Тверской, Архангельской, Вологодской областей и Республики Карелия). В этих условиях необходимы международные договоренности и специальные федеральные законы о правилах эксплуатации водных ресурсов, а также организация совместного мониторинга за состоянием экосистемы Ладожского озера и его бассейна. В связи с этим авторы полагают необходимым, чтобы Российская академия наук, Минэкономразвития и Минприроды приняли программу проведения комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на решение поставленной проблемы.

Известия Русского Географического общества. 2008. Т.140. Вып.4. С.1—9 (Россия).

География

Государственные границы на морском шельфе Арктики

Определение морских границ государств регламентируется различными положениями Конвенции ООН по морскому праву. Их реализация возможна по договоренности с сопредельными государствами, расстояния между береговыми линиями которых составляют менее 200 морских миль. Для районов Мирового океана, где континентальная окраина простирается за пределы 200-мильной зоны, юрисдикция прибрежных государств определяется по внешней границе континентального шельфа. Для выполнения требований Конвенции необходимо определить местоположение континентальной окраины и рассчитать параметры континентального шельфа. Арктический бассейн располагается специфическим рельефом, что приводит к противоречивым решениям о положении континентальной окраины и разным оцен-

кам базовых параметров Конвенции. Причины существующих разногласий заключаются также в различных интерпретациях результатов геологических и геофизических исследований. Методику определения подножия континентального склона в Арктическом бассейне предложил Б.С.Фридман (Управление навигации и океанографии Военно-Морского флота России).

Континентальные окраины Арктического бассейна состоят из континентального шельфа, континентального склона и континентального подножия. Их границы устанавливаются только по морфологическим признакам, а именно по перегибу профиля дна. Нижняя граница континентального склона не имеет однозначного определения; с позиций традиционной геоморфологии — по батиметрическому положению и абсолютной высоте склона — оно лишено смысла.

Научно-техническое руководство комиссии по границам континентального шельфа установило в качестве базовых параметров континентального шельфа подножие континентального склона и изобату 2500 м. Исходной информацией послужили морфологические данные и батиметрические профили дна Баренцево-Карской геологической провинции. Сеть измеренных глубин нерегулярна при расстояниях между точками 2—14 км в Евразийском секторе и до 27 км в Американско-Азиатском. Глубины каждой точки рассчитываются линейной интерполяцией всех ближайших окружающих глубин. Автором предложены способы обработки исходной информации и методика расчетов базовых параметров, при этом применяются методы статистического сглаживания и фильтрации. Все расчеты и построения выполнены в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву и Руководством комиссии по границам континентального шельфа. Полученные результаты использованы Россией для удовлетворения требований Конвенции ООН.

Известия РАН. Серия географическая. 2008. №3. С.45—53.

Первый гидрометеоролог в СССР

Д.Б.Орешкин,
кандидат географических наук
Институт географии РАН
Москва

Россия — страна с большим пространством и, соответственно, медленным временем. Счет по долгам предьявляется с запозданием и не тому, кто их наделал. Может быть, поэтому так много злодеев остаются у нас героями.

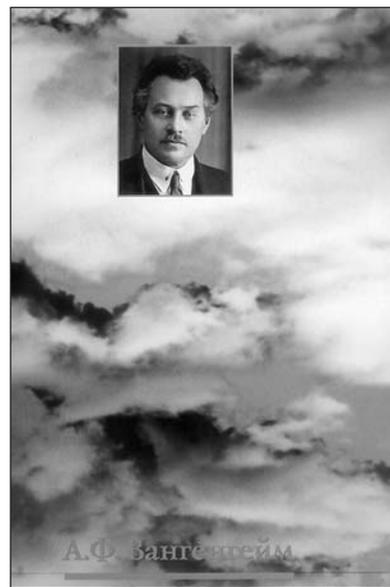
Ускорения процессов повышения интенсивности обмена, сокращения дистанции между преступлением и наказанием и в конечном счете большей справедливости можно добиться с помощью уплотнения информационных потоков. Этот процесс необратим и любая добросовестная публикация — не обязательно даже историческая — вносит свою лепту.

То, что сегодня доминирует противоположная тенденция к торможению и замалчиванию — явление локальное и гораздо более краткосрочное, чем в советскую эпоху. Ну, подлатали кое-как плотину. Ну, копится понемногу вода. Ну, год, два, три... Все равно прорвет. Чем позже, тем катастрофичней. Но в любом случае уже не через поколения. На нашей с вами жизни. Увидите.

Книга «Возвращение имени» — из разряда не выплаченных вовремя долгов. Без идеологии, без пафоса и надрыва — просто конкретная жизнь конкретного яркого человека, ученого, оборванная в 1937 г. то ли в Кеми, то ли в Медвежьегорске. Возвращенный дочерний долг и профессиональный долг исследователя-историка. Один случай из сотен тысяч. (в сугубо техническом отношении расходов на издание), кстати, опять же не столько государством, так или иначе имеющим отношение

к сюжету, сколько из личных средств автора. Насколько мне известно, для издания книги Элеонора Алексеевна Вангенгейм продала старинное семейное фортепьяно и сумела добиться финансовой поддержки у СПС («Фонд поддержки предпринимательства»). Честь государства отчасти защитил «Росгидромет», у которого достало мужества и чувства долга, чтобы помочь с изданием книги о своем первом руководителе во времена, когда такие истории не в моде. Словом, книга состоялась. На небольшом участке живого исторического полотна человеческое одержало победу над нечеловеческим, и следует сказать авторам спасибо за восстановление веры в справедливость и осмысленность существования. Хотя, кажется, — куда там...

Пунктиром — биография героя книги, Алексея Феодосьевича Вангенгейма (1881—1937). Интеллигент из обрусевших еще с екатерининских времен голландцев, романтически настроенный дворянин-социалист, потомственный естествоиспытатель, участник студенческих волнений, организатор и первый руководитель Гидрометслужбы Каспийского моря (1911), затем первый председатель Гидрометеорологического комитета при Совнаркомом СССР (1929). Верный партиец, лично знаком с Лениным, Н.Крупской, М.Горьким, К.Луначарским. В январе 1934 г. арестован по обвинению в организации контрреволюционной вредительской работы в Гидрометслужбе, сборе через нее секретных сведений в целях шпионажа, составлении заведомо ложных прогнозов погоды с целью срыва и дезорганизации сельско-



В.В.Потапов и Э.А.Вангенгейм. ВОЗВРАЩЕНИЕ ИМЕНИ. АЛЕКСЕЙ ФЕОДОСЬЕВИЧ ВАНГЕНГЕЙМ.

М.: *Таблицы Менделеева*, 2005. 152 с.

хозяйственных кампаний, умышленном срыве заданий правительства по борьбе с засухой и развале сети гидростанций.

Виновным себя не признал, был изобличен свидетельскими показаниями, 10 лет по статье 58 п.7. До 1937 г. вел из Соловков переписку с семьей, в том числе отослал многочисленные письма с рисунками и гербариями маленькой дочери Элеоноре. Эти письма и рисунки и составляют значительную часть книги. В 1937 г. замолчал. На запрос семьи в 1939 г. Прокуратура СССР ответила, что А.Ф.Вангенгейм повторно осужден Особой тройкой Ленинградской области на 10 лет без учета прежнего срока и без права переписки.

И.В.Сталин в докладе «О правом уклоне в ВКП(б)» (1929) резонно отмечает, что «состоятельные слои деревни... играющие на хлебном рынке серьезную роль, не хотят нам давать добровольно нужное количество хлеба по ценам, определенным Советской властью». Из этого он делает интересный вывод о том, что надо не повышать цену, а уничтожить состоятельные слои (кулачество) как класс вместе с хлебным рынком («заготовками по самотеку») как «вредную и опасную вещь». Хлебозаготовки следует организовать не на добровольно-рыночной основе, но на основе мобилизации беднейших слоев с применением «чрезвычайных мер».

А иначе, собственно, зачем большевики и лично т. Сталин?

Мощь этих идей в ближайшие два-три года отразилась в катастрофическом падении производства, голоде и вымирании деревни, в затруднениях по снабжению хлебом городов и Красной Армии.

В том же труде И.В.Сталин терпеливо объясняет глупым уклонистам, что они забыли о «главных моментах» хлебных затруднений. «Забыли, прежде всего, о том, что в этом году мы собрали ржи и пшеницы... миллионов на 500—600 пудов меньше, чем в прошлом году. Могло ли это не отразиться на наших хлебозаготовках? Конечно, не могло не отразиться».

Вот оно, оказывается, в чем дело-то. А мы-то все думаем, думаем: что так кисло у нас с хлебозаготовками? Оказывается, ржи и пшеницы маловато собрали...

«Может, в этом виновата политика ЦК? — продолжает т. Сталин. — Нет, политика ЦК тут ни при чем. Объясняется это серьезным неурожаем в степной полосе Украины (заморозки и засуха) и частичным неурожаем на Северном Кавказе, в Центрально-Черноземной области, в Северо-Западной области. Этим, главным образом, и объясняется, что в прошлом году заготовили мы хлеба на Украине 200 млн пудов, а в этом году — всего лишь 26—27 млн пудов. Этим же надо объяснить падение заготовок пшеницы и ржи по Центрально-Черноземной области почти в 8 раз и по Северному Кавказу — в 4 раза».

Ну, раз «этим надо объяснить», этим и объясним. Против лома нет приема. Хотя можно было бы и другим. Например, заготовки на Востоке — говорит Сталин — выросли за тот же год вдвое. Может, потому что там коллективизацию еще не успели провести, и мужики не поняли, что власть сошла с ума, и сеять хлеб отныне нет смысла: все равно отберут?

И правда: через год погодные условия испортились и в Сибири. А в европейской части СССР к 1931—1933 гг. вообще наступил тотальный голодомор. Работать на себя народ уже отучили, работать на колхоз еще не заставили. Погода вытворяет черт знает что: заморозки непосредственно переходят в засухи, неурожай на неурожае. Поскольку политика ЦК тут не при чем, ответить за погодный беспредел придется вредителям из числа метеорологов. А кому же еще, вы сами рассудите по чести?!

Для А.Ф.Вангенгейма эта партийная логика почему-то осталась непонятной. Первый год он бодрится, пишет И.Сталину, М.Калинину, в Комитет партийного контроля. Надеется восстановить справедливость через лично знакомых Н.Крупскую,

М.Горького, О.Шмидта, Г.Димитрова. «Вера моя в Советскую власть нисколько не поколеблена. <...> Странно только, что не видно никакой реакции». Второй год — медленное прозрение истинной сущности вещей над великим Беломорканалом. «Я, кажется, напрасно беспокоил тебя просьбой переговорить с А.М. [Горьким. — Д.О.]. Уж очень о нем неблагоприятные разговоры с фактами...» «Ты пишешь про О.Ю. [Шмидта. — Д.О.]. Это на него похоже — карьера превыше всего...» И нарастающее отчаяние специалиста, для которого главное наказание — бесполезность существования.

Незадолго до тюрьмы он затеял проект по использованию ветровой энергии в СССР: «десятки тысяч “Днепростроев”... бороться с засухой, пустыней именно там, где наибольшая жара и очень сильные ветры... на севере ветер может отапливать и освещать. <...> Я должен был в 1934 г. закончить первый атлас распределения ветровой энергии в СССР. Он, конечно, выйдет, но уже без меня. Совершенно то же и с так называемым “солнечным кадастром” — моим детищем — учетом солнечной энергии в СССР. Солнечная энергия еще мощнее в несколько раз».

Кому он это — жене? Дочери? Потомкам? Богу? Кого в СССР в 1935 г. могли заинтересовать рассуждения з/к с 58-й статьей о том, что через десятилетия станут называться «альтернативными источниками энергии». Он ошибся: идеи с кадастром ветров и солнечной энергии без него скоро заглохли. Ошибка типично советская: это грубое марксистское упрощение, что все развивается «по объективным законам», личность ничего не значит и незаменимых у нас нет. Без личного креативного мотора самые очевидные и перспективные разработки скоро глохнут. Чтобы затем реализоваться в другом месте и в другом времени — там, где к «креативным моторам» и личной свободе человека среда относится лучше. Ну,

по меньшей мере, где не вяжут руки проволокой. Или даже принимают законы о защите интеллектуальной собственности и иных прав человека.

«Когда будешь посылать посылку — вложи частый гребешок. Между стрижками иногда хочется почесать голову, а гребешок, хотя и самодельный, велик. <...> Как обидно становится, когда подумашь, о чем приходится думать вместо крупных проблем, на которые я еще способен».

Через два года он уже почти прозрел, но еще боится признаться: «До сих пор ничего не понимаю, не хочу верить предположениям других, судорожно стараюсь сохранить веру в честность Советской власти и партии». И еще через несколько месяцев: «Знаешь, мне иногда приходит мысль, что я со своей преданностью партии и социалистическому строительству загнал себя сюда и, сохраняя и то и другое неизменным, все больше здесь себя закабалью. <...> Но, родная, я иначе не могу: перед тобой и партией я не могу не быть честным до конца».

К сожалению, конец был не за горами. Накатывалась вторая и главная война предвоенного террора, классовая борьба обострялась по мере построения социализма, на смену сравнительно вегетарианской эпохе «вредителей» пришла мясорубка «врагов народа». Для них надо было расчистить место. На Соловки пришло соответствующее указание, а вслед за ним и Особая тройка УНКВД Ленинградской области в составе т.т. Л.Заковского, В.Гарина, Б.Позерна. Секретарь — т. Егоров.

Тройка среди прочих дел рассмотрела наскоро оформленное дело №103010-37 г. на 134 «украинских буржуазных националиста», которые в лагере на Соловках «оставаясь на прежних к-р. позициях, продолжая к-р. шпионскую, террористическую деятельность, создали к-р. организацию «Всеукраинский центральный блок»». И приняла единственно правильное решение: расстрелять. Долж-

на же революция защищать свои завоевания?

В расстрельном списке профессор метеорологии А.Ф. Вангенгейм стоит под №120, между профессором истории В.М.Чеховским (№119) и профессором истории С.Г.Грушевским (№121). На самом деле общего у 134 человек, попавших в Соловки по разным статьям, в разное время и на разные сроки — только факт рождения на Украине. По этой причине их и вписали в члены нового шпионского и террористического «блока», протянувшего свои ядовитые щупальца через весь Соловецкий лагерь особого назначения. Для других з/к были выдуманы другие разговоры и другие «к-р. блоки» с тем же кратким приговором в конце. Всего «Тройка» за несколько недель приговорила к расстрелу 1825 человек по свежим групповым делам.

О судьбе каждого из них наверняка можно было бы написать книгу — только некому. Так что жизненная траектория Вангенгейма остается для нас моделью десятков тысяч безымянных элементарных частиц России, сгинувших в вечной мерзлоте.

Все просто. Виноватый сначала только в мирном метеорологическом вредительстве (все-то 10 лет!), профессор Вангенгейм под чутким надзором Советской власти проделал за колючей проволокой путь до матерого контрреволюционера, шпиона и террориста. И в конце получил пулю в затылок. По-видимому, из револьвера капитана НКВД М.Матвеева, который ежедневно расстреливал по 200—250 врагов народа. По одному протоколу (списку) в сутки. Нелегкая была у капитана работенка — это вам не облака считать да скорость ветра мерить.

Как всегда в нашем богоизбранном Отечестве, на бумаге было гораздо больше порядка, чем в действительности. По протоколам расстреляли менее 2 тыс. человек, а в 150 расстрельных ямах размером 4×4 м каждая, по предварительным оценкам, лежит не менее 5—6 тыс. скеле-

тов. Это только в одном тихом месте в 16 км от Медвежьегорска. И никто не знает наверняка, здесь ли в последний раз увидел небо над головой основатель советской Гидрометслужбы, или это случилось с ним на каком-то ином полигоне.

Потом, естественно, была реабилитация. По решению Военной коллегии Верховного Суда СССР от 23 июня 1956 г. Родина как бы вернула долг своему несчастному сыну. Ну, с некоторым запозданием. И как бы не полностью. Такой у нее немного странный характер. Конкретнее, в ответ на упорные запросы семьи в апреле 1957 г. пришло свидетельство о смерти I-ЮБ №035252, где простым канцелярским слогом сказано, что Вангенгейм Алексей Федосеевич умер 17 августа 1942 г. в возрасте 61 года от перитонита. Неизвестно где. О чем, де, была сделана запись в книге ЗАГС. Почему-то Куйбышевского района г. Ленинграда и почему-то 26 декабря 1956 г.

А вы что хотели — чтобы правду вам? Вот так сразу и целиком? А как же тогда патриотизм? Если всем честно написать год смерти и причину — представляете, что будет? Скажите спасибо, что ответили и простили. Зря, вообще-то. Мягкотелость до добра не доводит. Вы о людях подумали?!

Ведь некоторые из этих майоров, капитанов и лейтенантов до сих пор живы.

И паспортистка из ЗАГСа, которая писала фальшивки о туберкулезах и перитонитах в 1941—1943 гг. тоже, возможно, жива. И прочие товарищи, которые строили и отлаживали систему обеспечения того, что сегодня они именуют «конституционным порядком», а тогда — «государственной безопасностью», тоже еще как живы. Их уверенность в завтрашнем дне, чувство выполненного долга, конечно, стоят неизмеримо дороже, чем судьба каких-то миллионов крестьян и сотен тысяч профессоров, полковников, чиновников и прочей сомнительной публики. ■

Орнитология

В.А.Паевский. ПЕРНАТЫЕ МНОГОЖЕНЦЫ: БРАКИ, ИЗМЕНЫ И РАЗВОДЫ В МИРЕ ПТИЦ. М.-СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 144 с. (Из сер. «Разнообразие животных».)

Важные закономерности в зоологической систематике, в зоогеографии и экологии были сформулированы на примере птиц. Знаменитые исследователи поведения животных, К.Лоренц и Н.Тинберген, стали нобелевскими лауреатами, изучая именно птиц.

В самом деле, кто знает о делах птичьей любви и их сексуальных похождениях? В каком возрасте они обзаводятся семьей, и насколько крепки их семейные узы? Как у них обстоят дела с супружеской верностью, браками и разводами?

Интерес к таким вопросам можно, конечно, удовлетворить чтением специальной орнитологической литературы, но неспециалиста это вряд ли захватит. Автор, зоолог, доктор биологических наук, поставил перед собой задачу — рассказать о птичьих свадьбах и разводах, ухаживании и изменах простым, доступным языком. На примере многих видов из разных систематических групп птиц на всех континентах описываются различные формы брака — моногамия и полигамия, колониальное и кооперативное размножение. В книге в популярной форме рассказывается о демонстративном поведении и брачных церемониях птиц, их турнирных схватках. Обсуждаются преимущества разных типов супружеских связей, возрастной состав брачных пар, внебрачное отцовство, гибридизация птиц. Автор ссылается на мировую научную литературу по орнитологии, когда детально рассматривает проблемы размножения и брачных систем животных.

Издание посвящается повседневной, рутинной и одновременно захватывающей работе орнитологов, независимо от того, проходит ли она в природе, где птицы мелькают в окулярах бинокля, в лаборатории, где в эксперименте птицы открывают загадки их свободных родичей, или за письменным столом и компьютером, где жизнь птиц предстает в виде чисел, формул, гипотез и моделей.

Климатология

И.Л.Кароль, В.М.Катцов, А.А.Киселев, Н.В.Кобышева. О КЛИМАТЕ ПО СУЩЕСТВУ И ВСЕРЬЕЗ. СПб.: РОСГИДРОМЕТ, 2008. 55 с.

Издание подготовлено по заказу Федеральной службы гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В доступной форме рассказывается о климате Земли — особенностях его формирования и методах изучения, современном состоянии и вероятных изменениях в ближайшем будущем. Обсуждаются последствия глобального потепления и возможность человека воздействовать на этот процесс.

Для авторов стимулом к работе послужили два обстоятельства. Прежде всего, это неоспоримый факт происходящего у нас на глазах изменения привычных климатических условий: теплые и нередко почти бесснежные зимы, увеличение повторяемости аномальных погодных явлений. Повышенный интерес к этой теме порождает наряду со взвешенными, научно обоснованными мнениями специалистов, появление изрядного числа некомпетентных, зачастую недобросовестных публикаций, «объясняющих» эволюцию земного климата причинами, далекими от действительности, но непременно поражающими вообра-

жение читателя. Желание хотя бы в какой-то мере нейтрализовать вред, наносимый подобными публикациями, и стало вторым стимулом к написанию книги.

В работе принял участие сотрудник Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова Б.Е.Шнееров, ознакомившийся с рукописью и сделавший ряд полезных замечаний. Особого внимания в издании заслуживает карта прироста среднегодовой температуры приземного воздуха на территории России.

Организация науки

СБОРНИК НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЕЙ — ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА РФФИ 2007 г. Вып.11. Под ред. В.И.Коновы; Отв. ред. А.В.Бялко. М.: Октопус; Природа, 2008. 400 с.

В сборнике публикуются победители ежегодного конкурса научно-популярных статей, организованного Российским фондом фундаментальных исследований. Представлены следующие разделы естественных наук: математика и механика, физика и астрономия, биология и медицина, химия, науки о Земле, науки о человеке и обществе, информационные технологии и вычислительные системы, фундаментальные основы инженерных наук. Ученые, выполняющие проекты РФФИ, рассказывают о своих работах.

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

Издание адресовано научным работникам, студентам и аспирантам, руководству научно-исследовательских институтов.

Пастушеские собаки Апиана: зороастрийский след на современной карте созвездий

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

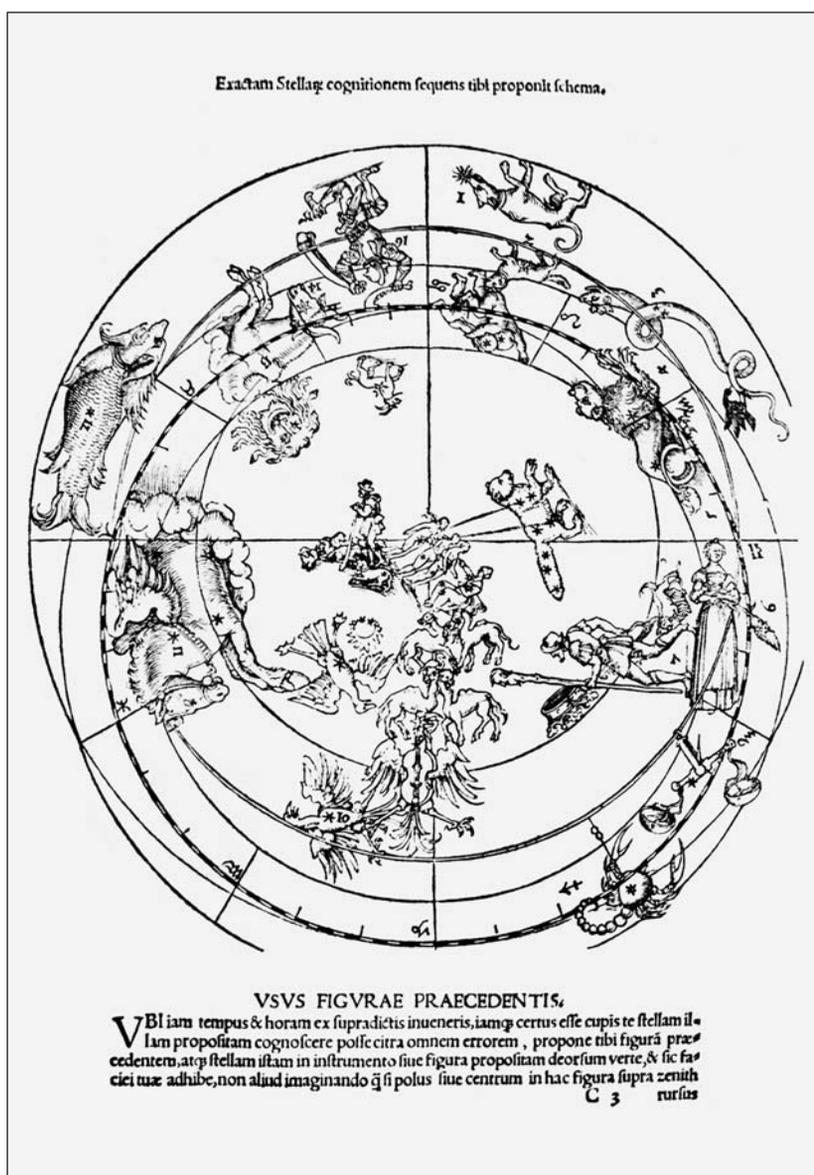
Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН

Москва

Оказавшись на перекрестке культур, сформировавшемся в центре Европы в первой половине XVI в., научные знания Востока становились достоянием как европейских ученых, так и простых любителей редкостей, среди которых чаще всего можно встретить особ титулованных. Последние часто становились покровителями первых, как правило, состоявших у них на службе.

Здесь произошла и встреча совершенно отличных друг от друга традиций изображений звездного неба — европейской (фактически — античной) и староарабской, относящейся еще к доисламской эпохе, карты неба, несущей в себе отголосок зороастрийской научной традиции. Арабские карты этого времени также фактически представляли греческую, птолемеевскую научную традицию, заимствованную и полностью освоенную в X в.

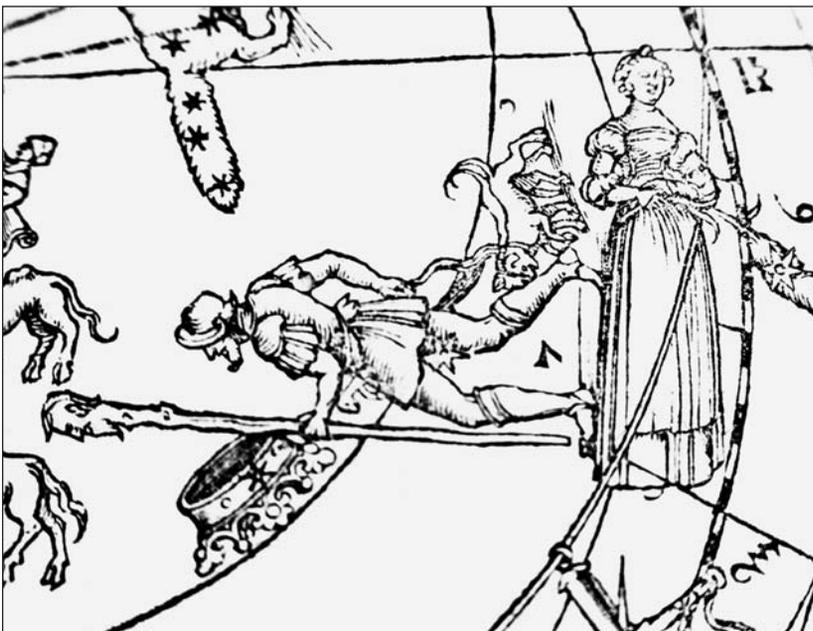
Наибольший интерес к старым картам Востока проявлял Петер Беневиц, более известный как Петер Апиан (1495—1552), профессор астрономии и математики Венского университета, — одновременно астроном и конструктор астрономических приборов, математик и картограф. Но, кроме того, знаменитый издатель научной литературы, на что имел привилегию от императора Карла V.



«Карта староарабских созвездий» Апиана (1539).



Фрагмент: «Группа женских фигур».



Фрагмент: «Пастух с собаками».

Свою реконструкцию карты староарабского неба (а это единственная известная реконструкция звездной карты арабов доисламского периода) Апиан представил в книге, содержащей различные астрономические, астрологические и математические сведения, объединенные

под общим титульным названием «Nogoscopion Apiani» (1539).

Став обладателем описания староарабских созвездий, Апиан решил воспроизвести их, создав карту неба, выполненную по тем же математическим правилам, какие к тому времени были в европейской науке.

На староарабской карте Апиана у Северного полюса в области созвездия Малой Медведицы изображены три стоящих женщины перед женщиной, сидящей на «троне». На месте, которое на греческой карте занимает Цефей, — Пастух с Собакой и Овцами. «Ленту» созвездия Дракона заполняет последовательность из четырех Верблюдов.

Среди опубликованных Апианом изображений звездного неба большой интерес представляет еще одна его звездная карта, которую в современной литературе обычно так и называют: «Звездная карта Апиана». Эта карта вошла в один из фундаментальных трудов Апиана — «Императорский Астрономикон» («Astronomicum Caesareum») 1540 г. Именно на этой карте впервые воплотилось староарабское влияние, сохранившееся в несколько скорректированном виде до наших дней.

В отличие от карты с созвездиями Дюрера, где небо представлено на двух картах отдельно с центрами в Северном и Южном полюсах мира, карта Апиана построена так, что северное полушарие не отделено от южного. Таким образом, все небо, видимое с территории Европы, воспроизводится на одной таблице. Разумеется, южные созвездия, в особенности Жертовник, Корабль Арго и южная часть Эридана, очень сильно «растянуты».

В целом Апиан следует дюреровской изобразительной традиции, но здесь представлены еще и новые фигуры. Это Пастушеские Собаки (три собаки рядом с Пастухом, т.е. Волопасом) и Некто, плывущий в водах наиболее южной части реки Эридан. Именно эти изображения демонстрируют самую раннюю реализованную попытку художественного развития античного сюжета.

Эти неклассические фигуры — единственные, не имеющие подписей. При этом все



«Пастушеские собаки» на фреске Ватиканского дворца (ок. 1575).

48 древних созвездий и многие яркие звезды на карте подписаны. Пастушеские Собаки заимствованы Апианом с известного ему (и, вероятно, только ему) староарабского неба. Кстати, в росписи зала Небесного Свода зала карт виллы Фарнезе в Капрароле (ок. 1573) Собак две (они, как и на карте Апиана, сопровождают Волопаса). В «Ура-нографии» Я.Гевелия Собаки

с карты Апиана превращаются в Гончих Псов и из области неба «позади ног Волопаса» перемещаются немного севернее в пространство «между Большой Медведицей и Волопасом».

«Некто» в водах Эридана, как и большинство других созвездий, персонаж греческой мифологии — Фаэтон. Фигура Падающего Фаэтона (но совсем иная, в отличие от спокойного, ли-

шенного эмоций рисунка на карте Апиана), — исполненная драматизма композиция; она тоже украсит росписи Звездного Небесного Свода виллы Фарнезе и Ватиканского дворца.

Таким образом, Апиан сделал первый шаг к развитию античной композиции, используя наследие греческой и значительно более древней зороастрийской культурной традиции. ■

Литература

1. Матвиевская Г.П. Альбрехт Дюрер — ученый. М., 1987.
2. Матвиевская Г.П. Абд ар-Рахман ас-Суфи. М., 1999.
3. *Arianus Petrus. Horoscopion Apiani...* 1539.

Тематический указатель за 2008 год

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

ВРЕМЯ БОРЬБЫ И УТРАТ

К 100-летию со дня рождения В.П.Эфроимсона¹ 11 59
Письма жене 1957–1966 гг. 11 61

«Все, что создал Валентин Петрович Глушко, он создавал впервые».

К 100-летию со дня рождения. **Стернин Л.Е.** 8 58
Выдающиеся ученые РАН* 4 79

ГЕНИЙ ЛАНДАУ

К 100-летию со дня рождения 1 3
Хроника: 1908–1968 1 4
Учитель. **Андреев А.Ф.** 1 9
Великий универсал XX века. **Герштейн С.С.** 1 15
Нобелиана Льва Ландау. **Блох А.М.** 1 34
Возвращение к началу: о родителях Дау и немного о нем самом. **Рындина Э.З.** 1 39
Лев Ландау и Матвей Бронштейн. **Горелик Г.Е.** 1 46
М.А.Корец и Л.Д.Ландау в кольце харьковских спецслужб. **Ранюк Ю.Н.** 1 54
Тревожное лето в Теберде. **Пуриц Е.Ф.** 1 60
Ни на кого не похожий Дау. **Тихомирова Н.А.** 1 63

Гигаинвестиции в нанотехнологии* 3 80
Гордон Мур недоволен нанопрогрессом* 4 81
Загадка семьи Дарвина: генетический аспект.

Голубовский М.Д. 2 74
Золотая медаль имени В.И.Вернадского — Г.Г.Поликарпову*. **Алексахин Р.М.** 10 83

Как измерили Солнечную систему. **Трифонов Е.Д.** 7 18
Камень плодородия. К 125-летию со дня рождения Александра Евгеньевича Ферсмана. **Боруцкий Б.Е.** 10 49

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2007 ГОДА

По физике — А.Фер и П.Грюнберг. **Никитов С.А.** 1 68
По химии — Г.Эртль. **Еремин В.В.** 1 74
По физиологии или медицине — М.Капеччи, О.Смитис, М.Эванс. **Киселев С.Л.** 1 78

Мир эволюциониста Джулиана Хаксли. **Голубовский М.Д.** 4 73

Музеи естественной истории: взгляд из Китая. **Наугольных С.В.** 4 49

Нанoeлектроника. Лукавая цифра?* 5 82
Научная добавка к Премии мира*. **Зубрева М.Ю.** 2 86

Полвека антарктической станции Восток. **Саватюгин Л.М., Преображенская М.А.** 2 60

Полвека Международному геофизическому году*. **Померанец К.С.** 12 79

Премии Американского астрономического общества — российским астрофизикам*. **Закутняя О.В.** 5 80

Премия Краффорда — Р.А.Сюняеву*. **Короткевич Г.В.** 4 78
Результаты конкурса научно-популярных статей 2 3

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

С.П.Королев и В.П.Глушко: сотрудничество и амбиции. **Рахманин В.Ф.** 8 68
Судьба к нему благоволила.

К 100-летию Э.М.Мурзаева. **Мурзаева В.Э.** 5 61
США не намерены уступать первенство в нанотехнологиях* 7 83

«ТРАДИЦИИ — НЕ ПЕПЕЛ, А ОГОНЬ»

К 100-летию Исаака Константиновича Кикоина 3 55
Кружево центрифуг. **Фридляндер И.Н.** 3 58
Два классических эксперимента Кикоина по сверхпроводимости. **Мейлихов Е.З., Сорокина К.Л.** 3 62
Кикоин как множество... **Ожогин В.И.** 3 66
Немецкий дневник: письма 1930 года² 3 71
Финансирование инноваций в США** 7 25

ФРАНК = ОПТИКА + НЕЙТРОНЫ

К 100-летию со дня рождения И.М.Франка 9 3
Нобелевская премия. **Болотовский Б.М.** 9 5
История одной семьи. **Франк А.И.** 9 17
Нейтроны и ядра. **Шарапов Э.И.** 9 31
Об одной работе И.М.Франка. **Франк А.И.** 9 41
Некоторые новые аспекты оптики поляризованных нейтронов. **Аксенов В.Л.** 9 50
IV Международная мамонтовая конференция³ 3 10

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Астрономическая обсерватория в Антарктиде* 8 77
Белые карлики нового типа*. **Ашимбаева Н.Т.** 9 78
Взрыв кометы Холмса. **Сурдин В.Г.** 5 50
Второй пролет «Мессенджера» вблизи Меркурия*.

Сурдин В.Г. 12 72
Галактический зонд: от звезды к звезде. **Сурдин В.Г.** 4 9
Гамма-всплеск, на который стоило посмотреть*.

Вибе Д.З. 6 76
Диск в туманности Муравей* 1 84
Завершается миссия «Ulysses»* 5 81

Звезда в облаке пыли* 5 81
Как измерили Солнечную систему. **Трифонов Е.Д.** 7 18

Магеллановы Облака — не спутники Млечного Пути?* 4 79
На экзопланете обнаружен метан*. **Вибе Д.З.** 7 83

Наблюдения начала вспышки сверхновой*. **Вибе Д.З.** 10 83
Началась экспедиция к астероидам* 2 80

Ожидается открытие. **Хренов Б.А., Климов П.А.** 4 39
Планетная пыль в звездных атмосферах*. **Вибе Д.З.** 2 81

Планеты в планетарных туманностях* 6 76
Планеты у А-звезд*. **Вибе Д.З.** 3 77

Позитроны предпочитают одну половину Галактики* 6 77
Последняя сверхновая в Млечном Пути*. **Вибе Д.З.** 8 77

Премии Американского астрономического общества — российским астрофизикам*. **Закутняя О.В.** 5 80

¹ Вступление и публикация Е.А.Кешман.

² Вступительная статья К.А.Кикоина, публикация Н.И.Кикоин.

³ Вступительная статья Е.Н.Мащенко, материалы подготовлены О.И.Шутовой.

Премия Краффорда — Р.А.Сюняеву*. Короткевич Г.В.	4	78	Новый мезон, открытый коллаборацией «Belle»*	6	78
Самый холодный коричневый карлик*.			Органическая электроника*	11	79
Ашимбаева Н.Т.	10	84	Почему светит электрохимическая ячейка?*	9	81
Сближение с астероидом 2007 TU24*. Сурдин В.Г.	4	80	Сверхпроводящая щель и аномалии Кона		
Световое эхо от вспышки черной дыры*	11	76	в монокристаллах Рb и Nb*	12	74
Серебристые облака изучает спутник**	3	53	Световые лучи искривляются*	7	84
Стандарт ночного неба**	8	16	Серийное производство наноподшипников*	2	83
Таинственная радиовспышка*	2	80	Соединять медью или нанотрубками?*	11	78
Темная энергия в ближней Вселенной.			Спины излучают микроволны*	9	80
Караченцев И.Д., Чернин А.Д.	11	3	Структура твердого водорода*	2	82
Температура реликтового излучения			Углеродные нанотрубки сворачиваются змейкой*	12	76
в раннюю эпоху*. Ашимбаева Н.Т.	11	77	Ферроггорионные домены: новый вид памяти?*	12	75
Три возраста звездного скопления NGC 6791*.			Физика в Монте-Карло. Мейлихов Е.З.	12	11
Вибе Д.З.	12	73	Фуллерит C ₂₀ *	11	79
			Черенковское излучение льда*	8	78
ПЛАНЕТОЛОГИЯ. МЕТЕОРИТИКА. ФИЗИКА			Электроника XXI века через призму		
И ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ. КОСМОХИМИЯ			нанотехнологии. Головин Ю.И.	5	10
Движение полюсов на Европе*	9	80	Электроцентральный с подвижными зеркалами**	11	58
Первая периодическая комета SOHO*	3	77	Эффект де Хааза — ван Альфена		
Следы воды на Луне*	12	73	в высокотемпературных сверхпроводниках*	11	78
МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА			ХИМИЯ		
Геоинформационная система «Вулканоопасность».			Атраны — молекулярные бутоны.		
Платэ А.Н., Веселовский А.В., Лексин А.Б.	10	36	Леменовский Д.А., Зайцева Г.С., Карлов С.С.	3	28
Почему звучат струнные музыкальные инструменты?			Бумагоподобные листы из окисленных графенов*	10	86
Демьянов Ю.А., Малашин А.А.	8	11	Зачем полимерам фуллерен? Атовмян Е.Г.,		
Электронные публикации и научные ресурсы			Бадамшина Э.Р., Эстрин Я.И.	10	16
Интернета. Полянин А.Д., Журов А.И.	2	5	Мир незастывших форм. Федоров В.Е.,		
			Мионов Ю.В., Наумов Н.Г.	6	11
ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА			Наномембраны*	4	82
Анизотропное разрушение поверхности Ферми*	1	85	Нанопровода InGaN: перекрыт весь диапазон		
Атомный карандаш. Он же ластик*	12	75	составов*	10	85
Безмедные ВТСП*	12	74	Наночастицы в свечной саже*	7	85
«Бозонный клей» высокотемпературным			Новая эффективная смазка на основе фуллеренов*	9	81
сверхпроводникам не нужен*	2	82	Проблемы безопасности наноматериалов*	10	86
Высокотемпературные сверхпроводники			С чего начинается фотосинтез? Еремин В.В.	12	3
для энергетики*	4	81	Текстильные изделия из нанотрубок*	1	85
Гордон Мур недоволен нанопрогрессом*	4	81	Углеродная нанотрубка как химический реактор*	2	84
Двухкубитные операции с нейтральными атомами*	3	79	Углеродные нанотрубки сворачиваются змейкой*	12	76
Дробный спин*	6	78	Фуллерит C ₂₀ *	11	79
Есть ли будущее у солнечной энергетики?*	11	79	Химический сенсор на основе углеродных		
Еще раз про кремниевую спинтроникку*	3	79	нанотрубок*	2	84
Замедление времени на ионах лития*	7	84			
Измеряем намагниченность отдельных атомов*	12	75	БИОЛОГИЯ		
Квантовый компьютер в алмазе при комнатной			В начале был гриб. Журавлев А.Ю.	11	40
температуре*	3	78	Вариации социального поведения у ящериц*.		
Квантовый компьютер на ионах в ловушках*	10	85	Семенов Д.В.	1	85
Квантовый компьютер решает классические задачи*	8	79	Ветреницы в парке Коломенское. Захаров И.А.,		
Квантовый спиновый эффект Холла*	12	74	Коростылева Т.В.	4	46
Лампа накаливания на углеродных нанотрубках*	2	83	Где кормятся атлантические кожистые черепахи?*	6	79
Магниты для молекулярной спинтроникки*	12	76	Гнездовой консерватизм у европейской болотной		
Молекулярные спиновые кубиты*	1	84	черепахи*. Семенов Д.В.	4	83
Монитор с катодом на основе углеродных			Жизнь в сообществах: формула счастья.		
нанотрубок*	8	79	Резникова Ж.И.	8	23
Наномагнетизм*	8	78	Из жизни мохноногих хомячков.		
Наномембраны*	4	82	Суров А.В., Феоктистова Н.Ю.	4	24
Нанопровода InGaN: перекрыт весь диапазон			Как муравьеподобные пауки контактируют		
составов*	10	85	с муравьями*. Михайлов К.Г.	8	80
Нанoeлектроника. Лукавая цифра?*	5	82	Лесные «острова» Южного Ямала. Смирнова О.В.,		
Невидимость: за и против. Розанов Н.Н.	6	3	Шашков М.П., Коротков В.Н., Широков А.И.	12	20

Мы снова в Антарктике. Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю., Джуринский В.Л.	12	25
Новозеландское судно «Тангароа» работает в Антарктиде**	2	59
Остров Райкоке и его обитатели. Трухин А.М.	6	33
Передача микрофлоры потомству*. Белянова Л.П.	9	81
Различия самцов и самок мокасинового щитомордника*. Семенов Д.В.	11	80
С чего начинается фотосинтез? Еремин В.В.	12	3
Температурная реверсия пола у пресмыкающихся*. Семенов Д.В.	8	80
У слепых рыб потомство бывает зрячим*	12	77
Фораминиферы как индикаторы холодных сипов?*		
Хусид Т.А., Доманов М.М.	9	79
Хромериды — новый тип простейших*.		
Чернышев А.В.	9	82
Что говорят улитки своим личинкам.		
Воронежская Е.Е., Незлин Л.П., Хабарова М.Ю.	2	14

БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ

«Висячие сады» на линии Мажино**	11	58
Голубиный «компас»*	4	84
Живой цемент**	3	53
Изменения среды влияют на долгоживущих черепах по-разному*. Семенов Д.В.	10	87
Искусственное осеменение животных**	2	79
Как муравьеподобные пауки контактируют с муравьями*. Михайлов К.Г.	8	80
Круглоголовка Штрауха. Бондаренко Д.А.	10	46
«Ленивые» самцы пауков-тенетников**	8	16
Лягушка без легких*	9	82
Наши гагары. Кречмар А.В.	7	35
Новая форма серого журавля в Армении*	12	78
Предсмертная песня «зомби». Бенедиктов А.А.	3	44
Примитивное вторичноротое*. Чернышев А.В.	12	77
Современник исчезнувших континентов.		
Наконечная О.В., Корень О.Г., Сидоренко В.С., Журавлев Ю.Н.	5	52
Черепаша Кантора, оказывается, жива*	4	84

ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ

Агрессия: от концепции К.Лоренца к современным представлениям. Кудрявцева Н.Н.	9	60
Атропин снижает уровень нейропептидов*	5	83
Белковые механизмы мейоза. Богданов Ю.Ф.	3	3
Дуэли и серенады в животном мире: на носах и голосах. Володина Е.В., Володин И.А.	8	17
Живой коралл умеет защищать свой скелет*.		
Келлер Н.Б., Демина Л.Л., Оськина Н.С.	3	80
Загадка семьи Дарвина: генетический аспект.		
Голубовский М.Д.	2	74
Заменитель гепарина?*	11	81
Как наследуется плодовитость.		
Аксенович Т.И., Бородин П.М.	4	3
Как эффективно получать биогаз? Вавилин В.А.	11	14
Мозг и инсулин: новая роль древнего гормона.		
Бондарева В.М., Чистякова О.В.	7	3
По следам викингов: поиски гена близнецовости.		
Сент-Клер Дж., Голубовский М.Д.	10	3

Протеасомы в судьбе злокачественной опухоли.		
Шарова Н.П.	5	20
Робот-водомерка**	6	20
Синапсы участвуют в энергетическом метаболизме*	4	82
Такие разные мыши. Богданов Н.Н.	6	73

ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ

Атропин снижает уровень нейропептидов*	5	83
Борьба с эпидемиями**	7	25
Заменитель гепарина?*	11	81
Открыт переносчик вируса Марбурга*	8	80
Пандемии гриппа: прошлое и будущее. Гендон Ю.З.	5	3
Поп-психология. Юревич А.В.	5	57
Проблемы безопасности наноматериалов*	10	86

ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Белый ястреб. Кречмар А.В.	2	37
Браконьеры в парке Вирунга**	7	25
В борьбе с браконьерами помогут генетики**	2	79
Вампиры Коста-Рики**	11	57
Вирусы в водной среде**	2	59
Геохимический стресс и вымирание мамонтов Северной Евразии*	4	84
Дельфины у берегов Японии заражены ртутью**	8	16
Динамика распределения хлорофилла в Балтийском море*	11	81
Жизнь на вечной мерзлоте. Берман Д.И.	10	23
За бабочку — в тюрьму**	3	53
Загрязнение природной среды российских арктических морей*. Виноградова А.А.	1	86
Золотая медаль имени В.И.Вернадского — Г.Г.Поликарпову*. Алексахин Р.М.	10	83
Искусственный остров**	7	25
Как сохранить островных ящериц?*. Семенов Д.В.	3	85
Как сохранить пятнистую неясыть?*	11	57
Катастрофически сокращается мировое биоразнообразие**	12	60
Контрастное состояние земноводных в мире*. Семенов Д.В.	7	85
Лесные пожары в Эвенкии.		
Харук В.И., Двинская М.Л., Им С.Т.	8	42
Малайский медведь находится под угрозой исчезновения**	11	57
Обнаружены шесть видов животных*	10	87
Орудия лова могут быть более безопасными для черепах*. Семенов Д.В.	5	82
Переработка вместо захоронения*	5	82
Радоновые воды Ленинградской области*	9	83
Растет загрязняющая роль морского транспорта**	2	44
Современник исчезнувших континентов.		
Наконечная О.В., Корень О.Г., Сидоренко В.С., Журавлев Ю.Н.	5	52
Спутниковый мониторинг — к Олимпиаде-2014*	6	78
Телма Целау — осколок великой болотной империи.		
Королева Е.Г., Неронов В.В.	7	43
Черепаша Кантора, оказывается, жива*	4	84
Чтобы в городе были птицы.		
Булавинцев В.И., Самойлов Б.Л.	8	48

Шанс для жемчужницы?

Островский А.Н., Попов И.Ю. 9 64

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА

Биогеохимические системы и рудообразование.

Константинов М.М., Сидоров А.А. 5 27

Вулканизм и неотектоника северо-востока Камчатки* 5 85

Где хранятся огромные углеводородные запасы планеты* 1 88

Глубинные газы Черного моря* 8 81

Грязевые вулканы Южного Каспия миллионы лет назад* 6 81

Изучаются горы Гамбурцева** 6 20

Карта геологических опасностей России* 8 82

Массовые выбросы метана на Байкале?

Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. 11 45

Между Сциллой и Харибдой.

К 100-летию Мессинской катастрофы. **Никонов А.А.** 12 36

Методы изотопного датирования* 6 80

Нефтегазовые ресурсы арктического и дальневосточного шельфов России* 5 84

О чем рассказывают эти скромные цирконы?

Хаин В.Е., Сомин М.Л. 7 12

Открытия российских геологов в Атлантике*.

Бельгенов В.Е. 2 84

Очаги образования нефти и газа в Черном море* 12 78

Патомский кратер в Восточной Сибири.

Антипин В.С., Воронин В.И., Федоров А.М. 9 69

Петра. **Уфимцев Г.Ф.** 11 53

Прошлое, настоящее и будущее Печорского моря* 7 86

Хребет Книповича продолжает расти* 2 85

Человек каменного века на Ладожском озере.

К 125-летию выхода труда А.А.Иностранцева.

Никонов А.А. 7 26

ГЕОХИМИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОХИМИЯ

А что у Земли под мантией? **Расцветаева Р.К.** 4 59

Живой коралл умеет защищать свой скелет*.

Келлер Н.Б., Демина Л.Л., Оськина Н.С. 3 80

История открытия сидоренкита.

К 90-летию со дня рождения

академика А.В.Сидоренко. **Хомяков А.П.** 2 32

Камень плодородия. К 125-летию со дня рождения

Александра Евгеньевича Ферсмана. **Боруцкий Б.Е.** 10 49

Нарушения принципа «бритвы Оккама»

в современной минералогии. **Боруцкий Б.Е.,**

Урусов В.С. 6 21

Нефтяные углеводороды в океане.

Немировская И.А. 3 17

ГЕОФИЗИКА

Загадочные циркуляции.

Рянжин С.В., Кочков Н.В., Карлин Л.Н. 4 16

Как Англия была изолирована** 6 20

Лунно-солнечные приливы

и атмосферные процессы. **Сидоренков Н.С.** 2 23

Модель геодинамо** 3 52

Полвека Международному геофизическому году*.

Померанец К.С. 12 79

Столетие Тунгусской катастрофы*. **Никонов А.А.** 5 84

СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ

Вулканическая сера и климат Земли** 2 70

Геоинформационная система «Вулканоопасность».

Платэ А.Н., Веселовский А.В., Лексин А.Б. 10 36

Между Сциллой и Харибдой.

К 100-летию Мессинской катастрофы.

Никонов А.А. 12 36

Пятнадцать лет из жизни вулкана Мутновского.

Гавриленко Г.М., Мельников Д.В. 2 54

Цунами 2000-летней давности*. **Никонов А.А.** 8 83

Цунами имени Адальберта. **Никонов А.А.** 5 44

ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ

Бельгийцы возвращаются в Антарктиду*.

Виноградов В.Н. 9 84

Вековые колебания петербургского климата*.

Померанец К.С. 6 83

«Ветер, ветер — на всем Божьем свете...».

О природе кatabатических ветров. **Репина И.А.** 5 36

Воздействие приливов на скорость

ледовых потоков** 3 52

«Воздушные ямы» можно обойти** 12 60

Вулканическая сера и климат Земли** 2 70

Государственные границы на морском

шельфе Арктики* 12 80

Динамика климата в Северной Атлантике

и Северо-Европейском бассейне* 10 88

К ледниковой истории Евразии* 3 84

Китайцы борются с наступлением пустыни** 11 58

Климат Москвы в конце XX века*. **Померанец К.С.** 9 83

Кости волка как маркер изменений климата** 11 57

Ледники туманных гор. **Сарана В.А.** 6 43

Ледовый купол Монблана подрост** 12 60

Наледи в бассейне реки Адычи. **Мурзин Ю.А.** 2 71

Научная добавка к Премии мира*. **Зубрева М.Ю.** 2 86

Национальные парки Японии глазами россиян.

Петрова Е.Г., Миронов Ю.В., Петрова А.А. 11 28

Новозеландское судно «Тангароа» работает

в Антарктиде** 2 59

О жизни древних инков рассказывают... клещи** 3 54

Обвалы на Маныче. **Свиточ А.А.** 6 54

Подводный оползень на Байкале. **Потёмкина Т.Г.** 7 52

Полвека антарктической станции Восток.

Саватюгин Л.М., Преображенская М.А. 2 60

Предсказание гроз** 3 54

Притяжение Воклюза. **Трофимова Е.В.** 4 42

Происхождение и расселение современного

человека: новые факты и гипотезы.

Долуханов П.М. 8 35

Режим Онежского озера и колебания климата*.

Померанец К.С. 10 88

Сахара внедряется в Атлас. **Чичагов В.П.** 2 45

Сокровища пещеры Медвежьей. **Трофимова Е.В.** 11 49

Судьба к нему благоволила.

К 100-летию Э.М.Мурзаева. **Мурзаева В.Э.** 5 61

Террасное земледелие в Нагорном Дагестане.

Агларов М.А. 12 30

Чей вклад в повышение уровня океана больше?*** 6 20

Югу Европы грозят циклоны** 12 60

ОКЕАНОЛОГИЯ. ГИДРОЛОГИЯ

Круговорот марганца в океане*. Базилевская Е.С.	3	82
Морские планеры**	2	59
Неоднородность вод Невской губы*. Померанец К.С.	8	83
Нефтяные углеводороды в океане. Немировская И.А.	3	17
Панарктическая ледовая дрейфующая экспедиция*	6	81
Пресную воду — на экспорт*	12	80
Программа «Арго» выполнена**	12	60
Проект «Система Белого моря» — четырехмерное изучение морей*. Лисицын А.П., Шевченко В.П.	11	81
Режим Онежского озера и колебания климата*. Померанец К.С.	10	88
«Электромагнитная птица» измеряет толщину льда*.		
Виноградов В.Н.	8	82

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ. ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ

IV Международная мамонтовая конференция	3	10
В начале был гриб. Журавлев А.Ю.	11	40
Геохимический стресс и вымирание мамонтов Северной Евразии*	4	84
Динамика берегов Северного Понта и раннее расселение людей*	5	86
Доледниковая Гренландия**	7	25
Древние озера Соловецкого архипелага*.		
Субетто Д.А.	8	84
Древние слоны Евразии: легенды Севера и мифы Юга. Марра А.Ч., Машенко Е.Н.	11	20
Каспийский бассейн в позднем плейстоцене*	7	87
Ледниковые пустыни в истории Земли. Свиточ А.А.	3	47
Музеи естественной истории: взгляд из Китая.		
Наугольных С.В.	4	49
На севере Сибири теплая каргинская трансгрессия все-таки была*	9	85
Растительность в районе моря Лаптевых 200 тысяч лет назад*	3	84
Ринхолиты — стрелки геологических часов?		
Комаров В.Н.	4	55
Самая южная в Восточной Европе находка овцебыка*	4	85
Самый мелкий птерозавр*	6	83
Скорлупа яиц ископаемых страусов в Туве*	10	89
Следы первобытного тура в Туве*	8	85
Тайна смерти Эцти**	11	57
Хазарский слон из Люберецкого района Подмосковья*	4	85

АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ. КРАЕВЕДЕНИЕ

«Альпеншток» из каменного века*. Малолетко А.М.	4	86
Возникновение чувства гармонии у гоминид.		
Любин В.П., Беляева Е.В.	11	72
Динамика берегов Северного Понта и раннее расселение людей*	5	86
Евразийский «степной пояс»: у истоков формирования. Черных Е.Н.	3	34
Кожевенные изделия из раскопок Московского Кремля. Осипов Д.О.	4	33
Латунь и золото ценились одинаково**	2	70
«Нарышкинское барокко» в заброшенных местах Калужской области. Шорбан Е.А.	7	56

Петроглифы Канозера*. Колпаков Е.М.	2	87
«Пещерный город» Бакла. Комаров В.Н.	12	51
Происхождение и расселение современного человека: новые факты и гипотезы. Долуханов П.М.	8	35
Происхождение этрусков**	3	53
Следы древнейших людей в Армении*.		
Колпаков Е.М., Субетто Д.А.	1	89
Тайна смерти Эцти**	11	57
Террасное земледелие в Нагорном Дагестане. Агларов М.А.	12	30
Человек каменного века на Ладожском озере. К 125-летию выхода труда А.А.Иностранцева. Никонов А.А.	7	26
Шокша — малый народ Мордовии. Рыжиков А.И.	8	53

АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ

А что у Земли под мантией? Расцветаева Р.К.	4	59
Веселье ЕГЭизмы ¹	4	69
Гомогенизация населения. Из научных трактатов Сказка про Нана. Г.-Х.А.-Младший	4	72
	4	65

БИОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОКА

БЕЗ СТРАХА И УПРЕКА

К 100-летию со дня рождения В.С.Кирпичникова ²	7	63
Экскурсия по архиву. Аврущкая Т.Б.	7	65
Мой путь в науке. Кирпичников В.С.	7	68
«Создавать всегда труднее»	7	76
Мой папа. Отрывок из воспоминаний. Кирпичникова Е.В.	7	80
Ботаника — наука земная... Гомазков О.А.	5	72
«МЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ МУДРЫМИ И ДОБРЫМИ»	6	56
Ноев ковчег XX века ³ . Вепринцев Б.Н.	6	57
Уникальный комплекс приборов. Хохлов А.М.	6	62
Через призму Вепринцева. Брежневский П.Д.	6	66

«ОТКРЫТИЯ, КОТОРЫЕ ДОСТАВЛЯЮТ УДОВОЛЬСТВИЕ»

Научный путь генетика Е.В.Ананьева	12	61
От мобильных элементов к искусственной хромосоме. Данилевская О.Н.	12	62
СЕВЕРНЫЕ МАРШРУТЫ АННЫ СУШКИНОЙ	10	67
Неисправимый романтик. Виталь А.Д.	10	67
Моя первая ледовая эпопея. Сушкина А.П.	10	78

В КОНЦЕ НОМЕРА

10 «Заповедей» Ландау. Кикоин И.К.	1	94
Боевой «корабль пустыни». Малых Н.И.	5	94
Звездная слава английских монархов. Кузьмин А.В.	2	94
Пастушеские собаки Апиана: зороастрийский след на современной карте созвездий. Кузьмин А.В.	12	85
Ферсман и «Природа». Успенская Н.В.	10	93

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

Ледники туманных гор. Сарана В.А.	6	43
Лесные «острова» Южного Ямала. Смирнова О.В., Шашков М.П., Коротков В.Н., Широков А.И.	12	20
Лесные пожары в Эвенкии. Харук В.И., Двинская М.Л., Им С.Т.	8	42

¹ Публикация О.В.Корсуна.

² Вступительная статья М.Д.Голубовского.

³ Публикация и комментарий О.Д.Вепринцевой.

Авторский указатель за 2008 год

А вруцкая Т.Б.	7	65	Володин И.А. (Володина Е.В.)	8	17	К араченцев И.Д. (Чернин А.Д.)	11	3
Агларов М.А.	12	30	Володина Е.В. (Володин И.А.)	8	17	Карлин Л.Н.		
Аксенов В.Л.	9	50	Воронежская Е.Е.			(Рянжин С.В., Кочков Н.В.)	4	16
Аксенович Т.И. (Бородин П.М.*)	4	3	(Незлин Л.П., Хабарова М.Ю.)	2	14	Карлов С.С.		
Алексахин Р.М.	10	83	Воронин В.И.			(Леменовский Д.А., Зайцева Г.С.)	3	28
Андреев А.Ф.	1	9	(Антипин В.С., Федоров А.М.)	9	69	Келлер Н.Б.		
Антипин В.С.			Г -Х.А.-Младший	4	65	(Демина Л.Л., Оськина Н.С.)	3	80
(Воронин В.И., Федоров А.М.)	9	69	Гавриленко Г.М. (Мельников Д.В.)	2	54	Кёстнер И. (Сорокина М.Ю.)	11	89
Атовмян Е.Г.			Гагаев С.Ю.			Кикоин И.К.	1	94
(Бадамшина Э.Р., Эстрин Я.И.)	10	16	(Сиренко Б.И., Джуринский В.Л.)	12	25	Кирпичников В.С.	7	68
Ашимбаева Н.Т.	9	78	Гендон Ю.З.	5	3	Кирпичникова Е.В.	7	80
	10	84	Герштейн С.С.	1	15	Киселев С.Л.	1	78
	11	77	Глушков В.В.	4	92	Климов П.А. (Хренов Б.А.)	4	39
Б адамшина Э.Р.			Голиков А.П.	9	91	Колпаков Е.М. (Субетто Д.А.)	1	89
(Атовмян Е.Г., Эстрин Я.И.)	10	16	Головин Ю.И.	5	10	Колпаков Е.М.	2	87
Базилевская Е.С.	3	82	Голубовский М.Д.			Комар А.А.	9	86
Бельтенева В.Е.	2	84	(Сент-Клер Дж.)	10	3	Комаров В.Н.	4	55
Беляева Е.В. (Любин В.П.)	11	72	Голубовский М.Д.	2	74			
Белянова Л.П.	9	81		4	73	Константинов М.М.		
Бенедиктов А.А.	3	44	Гольнская О.А. (Минина Е.Л.)	6	89	(Сидоров А.А.)	5	27
Берман Д.И.	10	23	Гомазков О.А.	5	72	Корень О.Г. (Наконечная О.В.,		
Блох А.М.	1	34		7	88	Сидоренко В.С., Журавлев Ю.Н.)	5	52
Богданов Н.Н.	6	73	Горелик Г.Е.	1	46	Королева Е.Г. (Неронов В.В.)	7	43
Богданов Ю.Ф.	3	3	Горшков С.П.	11	83	Коростылева Т.В. (Захаров И.А.)	4	46
Болотовский Б.М.	7	92				Короткевич Г.В.	4	78
	9	5	Д анилевская О.Н.	12	62	Коротков В.Н. (Смирнова О.В.,		
Бондарева В.М. (Чистякова О.В.)	7	3	Двинская М.Л.			Широков А.И., Шашков М.П.)	12	20
Бондаренко Д.А.	10	46	(Харук В.И., Им С.Т.)	8	42	Корякин Е.Д.	8	86
Бородин П.М. (Аксенович Т.И.)	4	3	Демина Л.Л.			Кочков Н.В.		
Боруцкий Б.Е. (Урусов В.С.)	6	21	(Келлер Н.Б., Оськина Н.С.)	3	80	(Рянжин С.В., Карлин Л.Н.)	4	16
Боруцкий Б.Е.	10	49	Демьянов Ю.А. (Малашин А.А.)	8	11	Кречмар А.В.	2	37
Брежестовский П.Д.	6	66	Джуринский В.Л.				7	35
Булавинцев В.И. (Самойлов Б.Л.)	8	48	(Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю.)	12	25	Кудрявцева Н.Н.	9	60
Бялко А.А.	1	90	Долуханов П.М.	8	35	Кузьмин А.В.	2	94
			Доманов М.М. (Хусид Т.А.)	9	79		12	85
В авилин В.А.	11	14				Л ексин А.Б.		
Валькова О.А.	3	91	Е ремин В.В.	1	74	(Платэ А.Н., Веселовский А.В.)	10	36
Вепринцев Б.Н.	6	57		12	3	Леменовский Д.А.		
Веселовский А.В.			Ж уравлев А.Ю.	11	40	(Зайцева Г.С., Карлов С.С.)	3	28
(Платэ А.Н., Лексин А.Б.)	10	36	Журавлев Ю.Н.			Лисицын А.П. (Шевченко В.П.)	11	81
Вибе Д.З.	2	81	(Наконечная О.В., Корень О.Г.,			Любин В.П. (Беляева Е.В.)	11	72
	3	77	Сидоренко В.С.)	5	52			
	6	76	Журов А.И. (Полянин А.Д.)	2	5	М алашин А.А. (Демьянов Ю.А.)	8	11
	7	83				Малолетко А.М.	4	86
	8	77	З аварзин Г.А.	8	3	Малых Н.И.	5	94
	10	83	Зайцева Г.С.			Маркин В.А.	3	86
	12	73	(Леменовский Д.А., Карлов С.С.)	3	28	Марра А.Ч. (Машенко Е.Н.)	11	20
Виноградов В.Н.	8	82	Закгейм А.Ю.	4	87	Машенко Е.Н. (Марра А.Ч.)	11	20
	9	84	Закутняя О.В.	5	80	Мейлихов Е.З. (Сорокина К.Л.)	3	62
Виноградова А.А.	1	86	Захаров И.А. (Коростылева Т.В.)	4	46	Мейлихов Е.З.	12	11
Виталь А.Д.	10	67	Зубрева М.Ю.	2	86	Мельников Д.В. (Гавриленко Г.М.)	2	54
Волков В.П.	5	87				Минина Е.Л. (Гольнская О.А.)	6	89
			И м С.Т. (Харук В.И., Двинская М.Л.)	8	42	Миронов Ю.В.		
						(Петрова Е.Г., Петрова А.А.)	11	28

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Миронов Ю.В. (Федоров В.Е., Наумов Н.Г.)	6 11	Рахманин В.Ф.	8 68	Тоточава А.Г.	2 89
Михайлов К.Г.	8 80	Резникова Ж.И.	8 23	Трифонов Е.Д.	7 18
Москалев Л.И.	12 57	Репина И.А.	5 36	Трофимова Е.В.	4 42
Мурзаева В.Э.	5 61	Розанов Н.Н.	6 3		11 49
Мурзин Ю.А.	2 71	Розенберг Г.С. (Сенатор С.А.)	10 90	Трухин А.М.	6 33
На конечная О.В. (Корень О.Г., Сидоренко В.С., Журавлев Ю.Н.)	5 52	Рыжиков А.И.	8 53	У русов В.С. (Боруцкий Б.Е.)	6 21
Наугольных С.В.	4 49	Рындина Э.З.	1 39	Успенская Н.В.	10 93
Наумов Н.Г. (Федоров В.Е., Миронов Ю.В.)	6 11	Рянжин С.В.		Уфимцев Г.Ф.	11 53
Незлин Л.П. (Воронежская Е.Е., Хабарова М.Ю.)	2 14	(Кочков Н.В., Карлин Л.Н.)	4 16	Ф едоров А.М. (Антипин В.С., Воронин В.И.)	9 69
Немировская И.А.	3 17	С аватюгин Л.М. (Преображенская М.А.)	2 60	Федоров В.Е. (Миронов Ю.В., Наумов Н.Г.)	6 11
Неронов В.В. (Королева Е.Г.)	7 43	Самойлов Б.Л. (Булавинцев В.И.)	8 48	Феоктистова Н.Ю. (Суров А.В.)	4 24
Никитов С.А.	1 68	Сарана В.А.	6 43	Франк А.И.	9 17
Никонов А.А.	5 44	Свиточ А.А.	3 47		9 41
	5 84	Семенов Д.В.	1 85	Фридляндер И.Н.	3 58
	7 26		3 85		
	8 83		4 83	Х абарова М.Ю. (Воронежская Е.Е., Незлин Л.П.)	2 14
	12 38		5 82	Хаин В.Е. (Сомин М.Л.)	7 12
О жогин В.И.	3 66		7 85	Харук В.И. (Двинская М.Л., Им С.Т.)	8 42
Орешкин Д.Б.	12 81	Сенатор С.А. (Розенберг Г.С.)	10 90	Хомяков А.П.	2 32
Осипов Д.О.	4 33	Сент-Клер Дж. (Голубовский М.Д.)	10 3	Хохлов А.М.	6 62
Островский А.Н. (Попов И.Ю.)	9 64	Сидоренко В.С. (Наконечная О.В., Корень О.Г., Журавлев Ю.Н.)	5 52	Хренов Б.А. (Климов П.А.)	4 39
Оськина Н.С. (Келлер Н.Б., Демина Л.Л.)	3 80	Сидоренков Н.С.	2 23	Хусид Т.А. (Доманов М.М.)	9 79
П етрова А.А. (Петрова Е.Г., Миронов Ю.В.)	11 28	Сидоров А.А. (Константинов М.М.)	5 27	Ч ернин А.Д. (Караченцев И.Д.)	11 3
Петрова Е.Г. (Миронов Ю.В., Петрова А.А.)	11 28	Сиренко Б.И. (Гагаев С.Ю., Джуринский В.Л.)	12 25	Черных Е.Н.	3 34
Платэ А.Н. (Веселовский А.В., Лексин А.Б.)	10 36	Смирнов Н.Н.	8 90	Чернышев А.В.	9 82
Полянин А.Д. (Журов А.И.)	2 5	Смирнова О.В. (Коротков В.Н., Широков А.И., Шашков М.П.)	12 20		12 77
Померанец К.С.	6 83	Сомин М.Л. (Хаин В.Е.)	7 12	Чистякова О.В. (Бондарева В.М.)	7 3
	8 83	Сорокина К.Л. (Мейлихов Е.З.)	3 62	Чичагов В.П.	2 45
	9 83	Сорокина М.Ю. (Кёстнер И.)	11 89	Ш арапов Э.И.	9 31
	10 88	Сорокина М.Ю.	6 84	Шарова Н.П.	5 20
	12 79	Стернин Л.Е.	8 58	Шашков М.П. (Смирнова О.В., Коротков В.Н., Широков А.И.)	12 20
Попов И.Ю. (Островский А.Н.)	9 64	Субетто Д.А. (Колпаков Е.М.)	1 89	Шевченко В.П. (Лисицын А.П.)	11 81
Потёмкина Т.Г.	7 52	Субетто Д.А.	8 84	Широков А.И. (Смирнова О.В., Коротков В.Н., Шашков М.П.)	12 20
Преображенская М.А. (Саватюгин Л.М.)	2 60	Сурдин В.Г.	4 9	Шорбан Е.А.	7 56
Пуриц Е.Ф.	1 60		4 80	Щ етников А.А. (Радзиминович Я.Б.)	11 45
Р адзиминович Я.Б. (Щетников А.А.)	11 45	Суров А.В. (Феоктистова Н.Ю.)	4 24	Э стрин Я.И. (Атовмян Е.Г., Бадамшина Э.Р.)	10 16
Ранюк Ю.Н.	1 54	Сушкина А.П.	10 78	Ю ревич А.В.	5 57
Расцветаева Р.К.	4 59	Т ихомирова Н.А.	1 63		

Правила для авторов

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

ся и проходят редакционную подготовку.

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

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

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

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

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

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

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
Л.М.ФЕДОРОВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.11.2008
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 775
Набрано и сверстано в редакции

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