

ПРИРОДА

6 11



В НОМЕРЕ:**3 Музафаров А.М., Василенко Н.Г.****Дендримеры — новый способ организации полимерной материи**

Весьма необычные соединения — сферические древо-видные макромолекулы, названные дендримерами, — синтезированы немногим больше 30 лет назад. Эти новые полимерные объекты с их экзотическим строением и свойствами оказались весьма многообразны и привлекли внимание разных специалистов.

11 Рубцов Г.И., Троицкий С.В.**Какие элементарные частицы — самые энергичные в мире?**

Элементарные частицы самых высоких энергий, зарегистрированных экспериментально, приходят на Землю из космоса. Обнаружить их способны несколько специальных установок, одна из которых расположена в 55 км от Якутска.

18 Тараскина А.Е.**Пагубная страсть, гены и дофамин**

Сегодня изучение наследственной предрасположенности к алкоголизму связывают с генетическими факторами, определяющими действие алкоголя на рецепторы головного мозга. Среди них важное место занимают нейромедиатор дофамин и его метаболизм.

О чем писала «Природа»**Кольцов Н.К.****Алкоголизм и наследственность (23)****26 Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.****Вулканические цунами: от Кракатау до Карымского**

Сравнение различных по масштабам проявления вулканических событий позволило выявить характерные черты воздействия цунами, вызванных подводными взрывными извержениями.

35 Квартальнов П.В., Иваницкий В.В., Марова И.М., Самоцкая В.В.**Заколдованная птица: история большеклювой камышевки**

Более века об этой птице судили по единственному типовому экземпляру, добытому в 1867 г. в Индии. Изучение музейных коллекций, фонотеки голосов живых им.Б.Н.Вепринцева и эксперименты в природе позволили не только подтвердить видовую самостоятельность большеклювой камышевки, но и уточнить ее распространение в Средней Азии, разобраться в особенностях экологии и поведения пролетных птиц.

Вести из экспедиций**41 Малыгин П.Д., Сарафанова Н.А.**
Новоторжский клад**Научные сообщения****43 Бараш М.С.**
Великое вымирание биоты — результат астероидной атаки?**Заметки и наблюдения****45 Шлотгауэр С.Д.**
Удивительный мир Коенини**Комаров В.Н.****Иосафатова долина (50)****53 Птушенко В.В.**
Электронный парамагнитный резонанс в биологии**60 Блох Ю.И.**
Природные катастрофы и революции в религиях**О чем писала «Природа»****74 Леонтьев К.А.**
Теплоемкость твердого тела и атомное строение энергии**81 Новости науки**

Атмосферные осадки на Титане (81). Пули из света (81). Вопросы, которые задает Фукусима (82). Водоросли помешали восстановлению жизни в начале триаса (83). Амфибионтные насекомые Барабы — мост между экосистемами (84). Лавинный риск для населения горных районов России (84). Птерозавр из раннего сеномана Поволжья (85).

Рецензии**86 Музрукова Е.Б.**
«Он жил для науки»
(на кн.: А.Г.Назаров, Е.В.Цуцкин.
Карл Максимович Бэр. 1792—1876)**89 Новые книги****В конце номера****90 Трейвус Е.Б.**
Геология в школе: раньше и сейчас

CONTENTS:

- 3 Muzafarov A.M., Vasilenko N.G.**
Dendrimers – a New Way to Organize Polymeric Matter
Quite unusual compounds – spherical dendrite-like macromolecules, named dendrimeres, were synthesized little more than 30 years ago. These new polymeric objects with exotic structure and properties turned out to be rather diverse and drew attention of specialists in many fields.

- 11 Rubtsov G.I., Troitzky S.V.**
Which Elementary Particles Are the Most Energetic in Universe?
Elementary particles of the highest energy registered experimentally are coming to Earth from outer space. There are several special installations capable to detect them. One of them is situated 55 km from Yakutsk.

- 18 Taraskina A.E.**
Pernicious Infatuation, Genes and Dopamine
Today studies of hereditary predisposition to alcoholism are centered on genetic factors defining influence of alcohol on brain receptors. An important place among them occupies neurotransmitter dopamine and its metabolism.

What «Priroda» Wrote About

- Koltzoff N.K.**
Alcoholism and Heredity (23)

- 26 Belousov A.B., Belousova M.G.**
Volcanic Tsunami: from Krakatoa to Karymsky Eruption
Comparison of volcanic events of different scales allowed to reveal some specific traits of impact for tsunami caused by underwater explosive eruptions.

- 35 Kvartalnov P.V., Ivanitzky V.V., Marova I.M., Samotzkaya V.V.**
A Bewitched Bird: History of Large-billed Reed-warbler
More than for a century this bird was known only by a single specimen acquired in India in 1867. Study of museum collections, B.N.Veprintzev's record library of animal voices and field experiments allowed not only confirm a separate species status of large-billed reed-warbler, but also make more exact its natural habitat in Central Asia, elucidate peculiar properties of ecology and behavior of flyover birds.

Notes From Expeditions

- 41 Malygin P.D., Sarafanova N.A.**
Novotorgsky Treasure

Scientific Communication

- 43 Barash M.S.**
Great Biotic Extinction: A Result of Asteroid Impact?

Notes And Observations

- 45 Shlotgauer S.D.**
Wonderful World of Koenini

- Komarov V.N.**
Iosafatova Valley (50)

- 53 Ptushenko V.V.**
Electron Spin Resonance in Biology

- 60 Blokh Yu.I.**
Natural Cataclysms and Revolutions in Religions

What «Priroda» Wrote About

- 74 Leont'ev K.A.**
Heat Capacity of Solids and Atomic Structure of Energy

- 81** **Science News**

Atmospheric Precipitates at Titan (81). Bullets of Light (81). The Questions Fukushima Asks (82). Algae Delayed Recovery of Life at Early Trias (83). Amphibiotic Insects of Baraba – a Bridge between Ecosystems (84). Avalanche Risk for Population of Russian Mountainous Regions (84). Pterosaur from Early Cenomanian Volga Region (85).

Book Reviews

- 86 Muzrukova E.B.**
«He lived for science»
 (on book: A.G.Nazarov, E.V.Tzutkin. Karl Maksimovitch Baer. 1792–1876).

- 89** **New Books**

In the End of the Issue

- 90 Trejvus E.B.**
Geology at School: in the Past and Now

Дендримеры — новый способ организации полимерной материи

А.М.Музафаров, Н.Г.Василенко

Новые и необычные

Наука о полимерах, существующая около 100 лет, продолжает активно развиваться, не только углубляясь в особенности полимерной материи, но и создавая новые объекты. Неисчерпаемые возможности полимерной химии обусловлены тем, что она вобрала в себя все самое лучшее из классической химии, физики и математики. Такие возможности особенно ярко проявились, когда — более 30 лет назад — были синтезированы сферические макромолекулы, дендримеры (от греч. δένδρον — дерево). Они стали первыми объектами полимерной химии, создание которых осуществлялось одновременно методами органического синтеза и компьютерным моделированием. Этот новый класс макромолекул коренным образом отличался от всех прежде синтезированных полимеров.

Чтобы подчеркнуть необычность новых объектов, авторы давали им разные названия — древовидные полимеры, «взрывающиеся звезды», арборолы, каскадные полимеры и т.д. Но какие бы названия ни присваивались, было ясно, что дендримеры с их экзотическим строением и свойствами не укладывались в общую классификацию полимеров. Традиционные, классические полимерные формы подразделяют по строению цепи на линейные, разветвленные и сетчатые, но ни к одной группе новые объекты



Азиз Мансурович Музафаров, член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук, заведующий лабораторией Института синтетических полимерных материалов РАН им.Н.С.Ениколопова, лауреат премии им.С.В.Лебедева РАН (1998). Область научных интересов включает синтез и исследование кремнийорганических дендримеров и других молекулярных нанообъектов.



Наталья Георгиевна Василенко, кандидат химических наук, старший научный сотрудник того же института. Научные интересы связаны с синтезом и исследованием свойств кремнийорганических соединений.

не могли быть причислены — слишком непохожими на известные структуры оказались эти сферические древовидные макромолекулы. В настоящее время исследователи предложили создать новую, четвертую группу полимеров, которые можно назвать макромолекулами-частицами (рис.1). Сюда относятся не только дендримеры, но и их ближайшие аналоги: сверхразветвленные полимеры, многолучевые звезды, плотные молекулярные щетки, нано- и микрогели.

Многообразие этих новых уже синтезированных полимерных объектов лишает нас возможно-

сти обсуждать здесь, в краткой статье, особенности их химического строения. Остановимся лишь на самых принципиальных моментах на примере дендритных макромолекул. Итак, дендримеры — это регулярно разветвленные макромолекулы, которые растут по закону геометрической прогрессии и представляют собой ряд гомологов. Последние отличаются друг от друга количеством «слоев» (их именуют генерациями) в молекулярной структуре. Генерации могут формироваться двумя способами — дивергентным и конвергентным. По первому из них синтез ведут от разветвляю-



Рис.1. Классификация полимерных макромолекул по строению цепи.

щего центра к наружному слою, по второму, конвергентному, — в обратном порядке (т.е. от периферии к центру) из предварительных заготовок (монодендронов) [1—4] (рис.2). Можно использовать и комбинированную методику: как в конвергентном варианте, монодендроны присоединять к разветвляющему центру — дендримеру второй или третьей генерации, синтезированному дивергентно.

В отличие от классических полимеров, которые всегда состоят из смеси макромолекулярных цепей различной длины, т.е. характеризуются полидисперс-

ностью, дендримеры монодисперсны и могут рассматриваться как индивидуальные соединения. В одном и том же гомологическом ряду соседние члены имеют дискретные величины молекулярных масс и отличаются в два и даже в три раза (рис.3). Функциональные группы всегда расположены только во внешнем слое макромолекулы, причем их количество известно — оно определяется номером генерации дендримера. Изменяя функциональность узлов ветвления — как центрального, так и боковых, — удастся увеличивать плотность всей структуры, при этом каж-

дая следующая генерация имеет все более плотный внешний слой. Такой подход использован в нашей лаборатории: для синтеза поликарбосилановых дендримеров применяли ди-, три- или тетрафункциональный разветвляющий центр и три- или тетрафункциональные мономеры (рис.4).

Дендримеры сразу же привлекли внимание исследователей из самых разных областей науки. Математикам эти полимерные макромолекулы были интересны как материализованная математическая модель ветвящегося процесса. Химиков-органиков они увлекали потому, что демонстрировали автоматическое воспроизведение алгоритма роста, ведущего к формированию регулярной структуры, и потому, что по сути представляли собой некий молекулярный конструктор. Физики видели в дендримерах новые объекты, способные к самоупорядочению в силу монодисперсности и сферической формы, привлекали также и как модели, на которых можно изу-

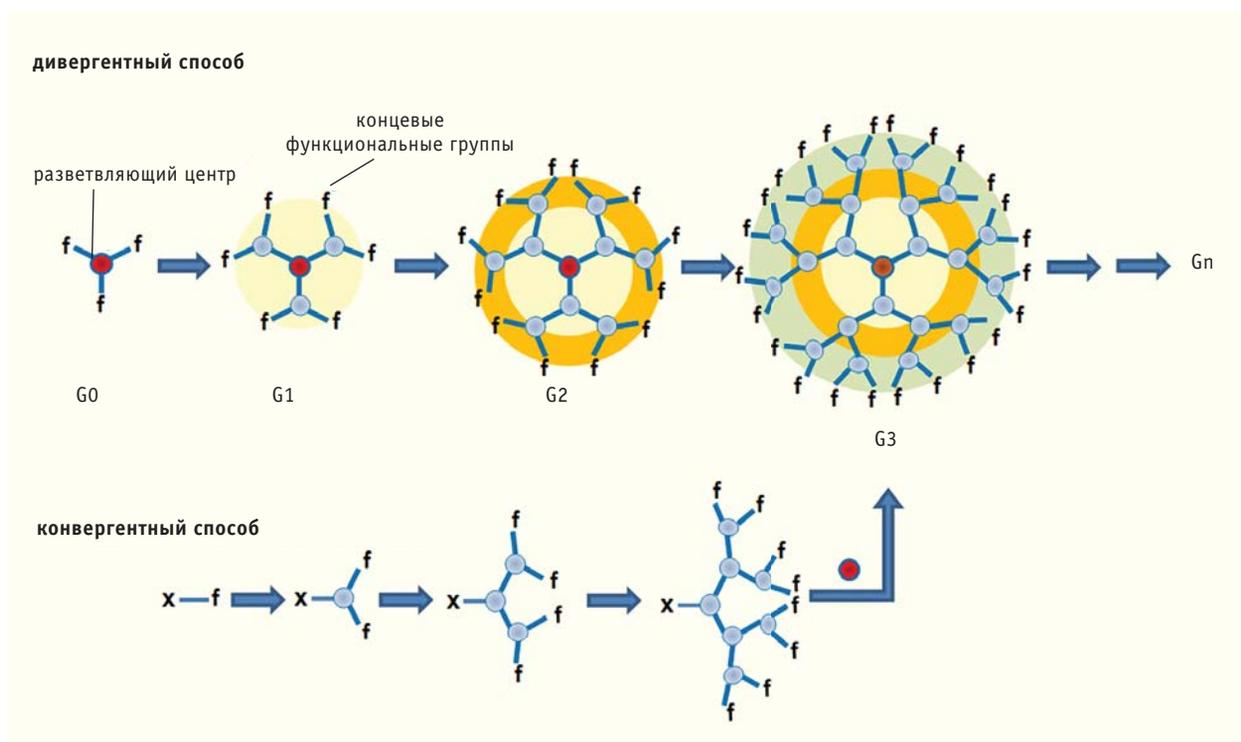


Рис.2. Два способа «послойного» получения дендритной макромолекулы. Здесь изображен синтез до третьей генерации (G), а на сегодня получены и исследованы соединения 11-й генерации.

чать особенности течения жидкостей.

Уже из первого обобщения результатов, полученных при исследовании новых объектов, стало ясно, сколь многие принципиально новые свойства могут проявить дендримеры [5]. Сегодня написаны несколько монографий по химии и перспективам практического применения таких соединений, сотни обзоров и тысячи оригинальных статей [см., напр. 6–8]. Видно ли из всего этого, насколько оправдались ожидания ученых и практиков?

Полимер или частица?

Дендримеры — это полимеры. Несмотря на всю категоричность утверждения, в научном сообществе проходили длительные дискуссии на тему, а так ли это. И если так, то что в них полимерного? Начнем с формальностей. Полимерами следует считать дендримеры просто потому, что они состоят из множества повторяющихся мономерных звеньев. Их всего два типа: дендритные, из которых построена вся молекулярная структура, и концевые (см. рис.4). Второе основание называть полимерами дендримеры следует из того, что это регулярные сверхразветвленные структуры, а их принадлежность к полимерам никто никогда не оспаривал, поэтому нет оснований сомневаться и в полимерности дендритных макромолекул. Но самые главные аргументы стали появляться по мере исследований свойств этих необычных соединений. Выяснилось, что, как и классические полимеры, они набухают и коллапсируют в зависимости от качества растворителя. Только если у классических полимеров объемные соотношения клубка (молекулы полимера в набухом состоянии) и глобулы (формы существования полимерной молекулы в плохом растворителе) отличаются более

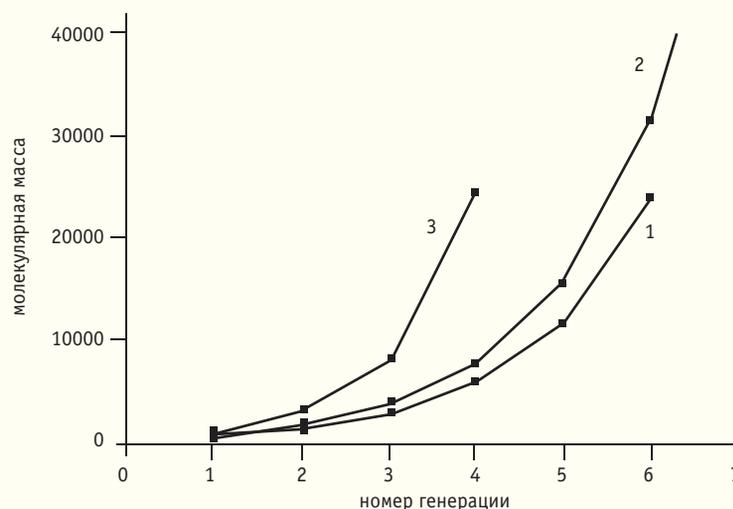


Рис.3. Рост молекулярной массы карбосилановых дендримеров по мере увеличения числа слоев (номера генерации) при разной плотности структуры. Чем больше функциональность разветвляющей группы — центральной и в слоях, — тем плотнее структура и тем больше молекулярная масса дендримера. 1 — функциональность равна трем в центральной группе и в слоях; 2 — функциональность центральной группы равна четырем, а в слоях — трем; 3 — функциональность обеих групп равна четырем.

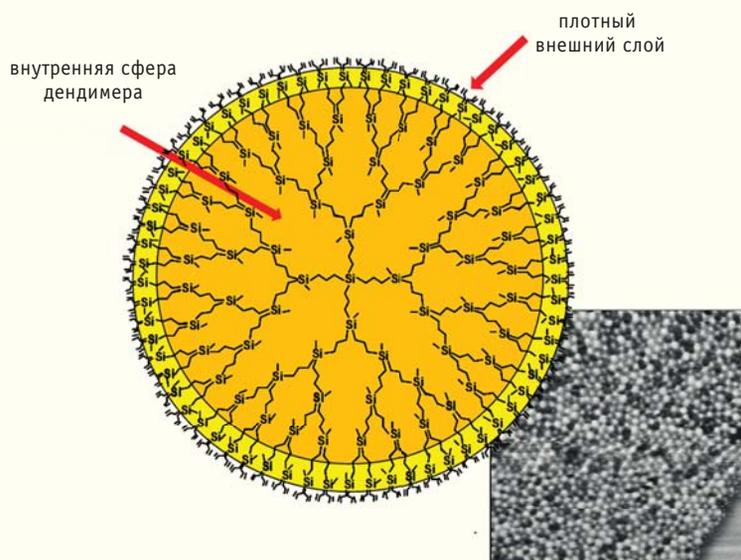


Рис.4. Схема строения карбосиланового дендримера пятой генерации и изображение дендримера девятой генерации, полученное атомно-силовой микроскопией. Во внутренней сфере варьируется плотность структуры изменением функциональности разветвляющих центров (от трех до четырех) и введением линейных участков. При необходимости можно ввести функциональные группы. Внешний слой всегда содержит известное количество терминальных групп и может быть функциональным и нефункциональным в зависимости от поставленной задачи.



Рис.5. Объемные соотношения клубка и глобулы классического полимера и дендримера в растворителях разного качества.

чем в тысячу раз, то у дендримеров — всего на несколько десятков процентов, как правило на 30—40% (рис.5).

И у классических полимеров, и у дендримеров прослеживается зависимость температуры стеклования от молекулярной массы. Сувеличением последней эта температура растет, однако при некоторых ее величинах перестает изменяться, несмотря на дальнейшее повышение массы макромолекулы [5, 7].

Ну и, наконец, у дендримеров так же, как у высокомолекулярных полимеров, появляется межмолекулярная сетка зацеплений (рис.6). Такое физическое состояние качественным образом меняет реологию (деформацию и текучесть). Выходит, ничто полимерное дендримерам не чуждо, но у них каждое из полимерных свойств проявляется весьма специфично. Мы уже упоминали о «поведении» дендримеров в растворителях и об остановке роста температуры стеклования. У классических линейных полимеров торможение роста обусловлено тем, что

по мере увеличения молекулярной массы снижается влияние концевых групп макромолекулярных цепей. У дендримеров же, наоборот, концевые группы определяют уровень межмолекулярного взаимодействия и подвижность макромолекулы в целом. А количество таких групп растет одновременно с повышением молекулярной массы. Наконец, образование физической сетки зацеплений — формирование физических узлов — у дендримеров происходит принципиально иначе, чем у линейных полимеров (см. рис.6). Это проявилось при исследованиях стандартной для полимеров зависимости свойств от молекулярной массы. Оказалось, что дендримеры, построенные из гибких (карбосилановых) фрагментов, при переходе от средних генераций к высоким меняют консистенцию и перестают течь, образуя физическую сетку. Вероятнее всего, ее узлы формируются за счет своеобразного расклинивания концевых групп соседних дендримеров. В результате «чужие» ветви удерживаются в их поверхностном слое.

Это явление подтверждено недавно совместными усилиями сотрудников, работающих в целом ряде российских научных центров — обнаружен второй релаксационный переход зависимости теплоемкости от температуры. По-видимому, он обусловлен именно образованием физической сетки [9]. Это позволило начать цикл исследований данного явления уже на новом уровне и с количественными характеристиками.

Повторим еще раз: при всей схожести общих свойств классических полимеров и дендримеров они проявляются по-особенному. В особенностях и выражается специфика этого нового класса полимерных объектов.

Что еще можно сказать об основных свойствах дендримеров? Им присущ дуализм свойств, поскольку фактически это макромолекула-частица.

Действительно, имея вполне определенную молекулярную структуру, они ведут себя в растворах как частицы, как твердые эйнштейновские шарики, непроницаемые для молекул растворителя [10]. Поэтому вязкость растворов пропорциональна объемной доле дендримеров в растворителе. В то же время, при его удалении они коллапсируют, их объем уменьшается на 30—40% от первоначальной величины [11]. Следовательно, внутренняя сфера все же доступна для сольватирования молекулами растворителя, а значит, и для проведения различных превращений в этом внутреннем пространстве древовидных полимеров.

Множество полезных свойств

С появлением первых сообщений о синтезе дендримеров начались поиски областей их применения. Такие работы продолжают по сей день, а точек приложения находится все больше. Здесь мы расскажем только о тех направлениях практического использования, которые наиболее развиты и перспективны.

Как и классические полимеры, дендримеры бывают гибкоцепные и жесткоцепные, поэтому температура стеклования колеблется от -100°C и до температуры выше 300°C (что в ряде случаев превышает температуру разложения). Поэтому дендримеры, как правило, представляют собой либо вязкие жидкости, либо аморфные порошки. Разветвленная структура дендримеров обеспечивает им лучшую растворимость по сравнению с линейными полимерами. Эту особенность часто используют в работе с плохо растворимыми сопряженными структурами: стоит такие фрагменты организовать в дендритную форму, как проблемы с растворимостью исчезают.

Надо сказать, что полезные физико-химические свойства

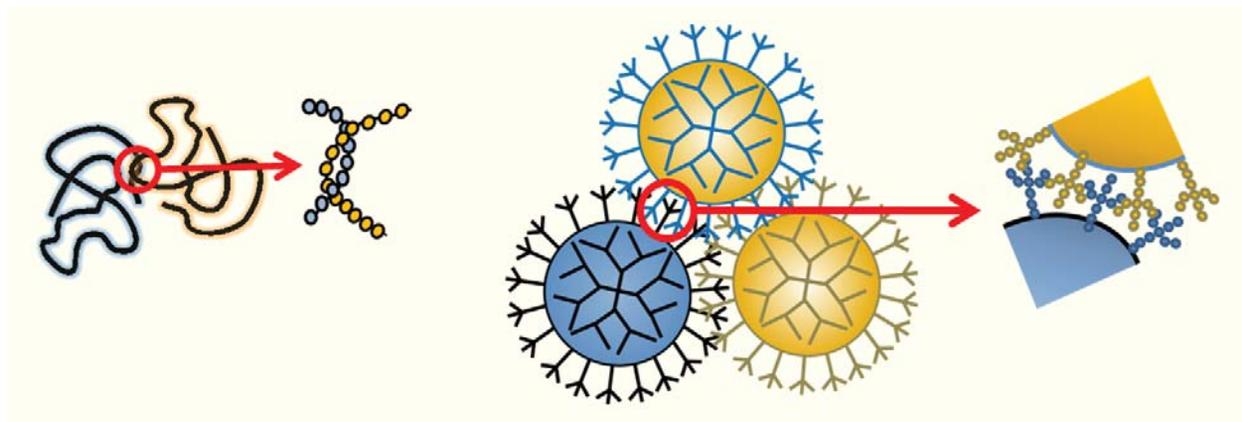


Рис.6. Схема межмолекулярных зацеплений классического полимера и дендримера.

самостоятельно проявляют и внешняя, и внутренняя сферы дендримеров.

Во **внешней сфере** многообразие привлекательных для практики свойств обусловлено тем, что она имеет большое (и заранее известное) количество функциональных «посадочных мест». Если на них «посадить» разные группы, то из одного и того же соединения может образоваться целое семейство его производных, резко отличающихся химическими «способностями» (рис.7). Так, например, в нашей лаборатории из полиалликарбосилонового дендримера получены гидрофильные полиолы, гидрофобные и олеофобные фторсодержащие системы, полиалкильные или полисилоксановые производные [12–14]. Модификацией поверхности удастся создавать также молекулярные системы с каталитическими центрами или мезогенными группами. В общем, высокое содержание функциональных групп на поверхности приводит к огромному количеству комбинаций [15]. Иными словами, на основе одной дендримерной матрицы можно создать целый спектр функциональных полимерных материалов, обладающих, например, электро-, магнито- или фоточувствительностью.

Химическая «техника», которая обеспечивает модификацию поверхности разных типов дендримеров, разумеется, очень

многообразна. Разнообразие производных соединений возникает по двум причинам. Во-первых, потому, что все межмолекулярные взаимодействия осуществляются только за счет привитых фрагментов, и это определяет свойства полученных систем. Во-вторых, в ходе прививки молекулярная масса возрастает более чем вдвое, причем весь процесс обусловлен модифицирующим агентом.

Внутренняя сфера дендримера стала осваиваться несколько позже, зато перспективы ее использования оказались более широкими [16]. Ведь если высокофункциональных полимер-

ных матриц множество, пусть и не уникальных, то таких нанореакторов, каковы по существу внутренние сферы дендритных макромолекул, практически не существует. Самый распространенный процесс, осуществляемый в подобных реакторах, — синтез металлических наночастиц (рис.8). Проводится он следующим образом. Если дендример содержит структурные фрагменты, способные к комплексообразованию, то сначала дендритная молекула взаимодействует с раствором соли металла. Третичный азот, фосфор, сера и ряд других элементов с избыточной электронной

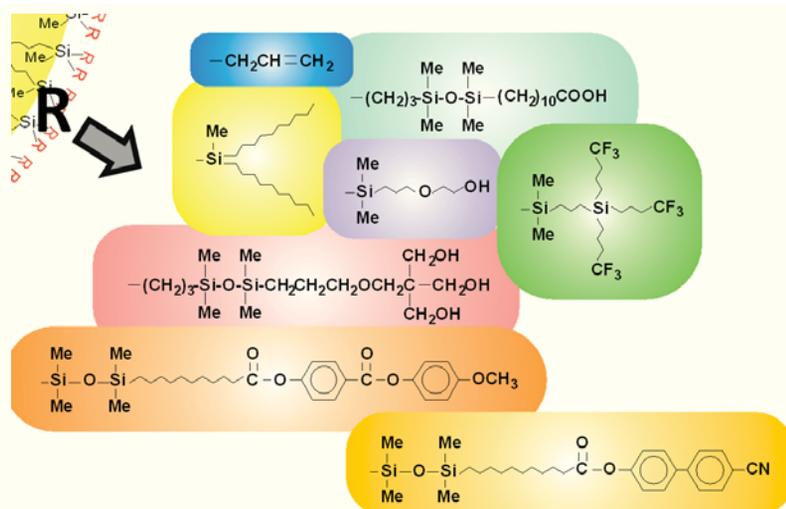


Рис.7. Несколько примеров, отражающих разнообразие внешнего слоя дендритной макромолекулы. R – любой радикал.

плотностью оказались идеальными партнерами для заряженного иона металла. Именно это служит движущей силой вовлечения ионов во внутреннюю сферу дендримера. Образуются устойчивые системы, «заряженные» точно определенным количеством ионов, которое исследователи могут выбирать заранее, используя дендример той или иной генерации. Следующая стадия — восстановление — может осуществляться самыми разными реагентами и способами, например боргидридом натрия, гидразином, УФ-облучением. Образовавшиеся в результате нейтральные атомы металла агрегируют во внутреннем пространстве дендримера, стремясь к построению кристаллической решетки. Формирование металлических частиц развивается очень быстро. Примечательно, что начиная с дендримеров четвертой генерации образующиеся металлические частицы стабилизируются во внутренней сфере молекулы. Учитывая, что дендритные полимеры монодисперсны и количество «посадочных мест» заранее определено, размер металлической наночастицы также оказывается строго заданным. По существу, формируются частицы металла, стабилизированные молекулярной структурой дендримера [17]. Что это, как не реактор для производства металлических наночастиц?

А дальше? Дальше можно действовать двояко. Один способ — использовать частицы, нахо-

дящиеся во внутренней сфере, чтобы создавать упорядоченные композиционные структуры, в которых макромолекула дендримера будет служить полимерной матрицей, а наночастица металла — наполнителем. Второй способ — проводить обменные взаимодействия с ионами других металлов и получать смешанные наночастицы. В литературе обсуждается применение подобных молекулярных композитов непосредственно в каталитических процессах. Наиболее перспективными в этом качестве представляются полифениленовые системы, заряженные частицами палладия и других каталитически активных металлов.

Вообще катализ — одно из магистральных направлений в применении дендримеров. Но этот процесс не ограничивается использованием только металлических наночастиц. Описаны, например, эффективные многоцентровые полилитиевые производные, инициирующие анионную полимеризацию [18]. Существуют амфифильные дендримеры с фторуглеродным внешним слоем, которые служат эффективными агентами переноса в процессах, проводимых в среде сверхкритической двуокиси углерода [19]. Означает ли это, что дендримеры будут служить в основном в качестве нанореакторов и каталитических систем? Нет, не означает. Кроме этих двух практических областей применения дендритных полимеров есть и другие, не менее перспективные.

Большие надежды

Само название «дендримеры» происходит, как уже сказано, от греческого δένδρον — дерево, следовательно, это древовидные полимеры. А что такое дерево, как не компактная и очень эффективная фабрика, где энергия солнечного света преобразуется в энергию химическую? Дендримеры — это практически идеальные соединения для создания искусственных аналогов природных систем, преобразующих свет. Такое утверждение основано на том, что дендритные макромолекулы представляют собой высокоупорядоченные сверхразветвленные образования, построенные подобно ветвящемуся дереву и способные содержать разные типы хромофоров в различных слоях. В последнее время получены дендримеры, которые могут с очень высокой эффективностью переносить энергию поглощенного света на внутренний люминесцентный центр. Там энергия поглощается и преобразуется либо в электрический ток, либо в свет другой длины волны [14, 20, 21]. В зависимости от заключительных стадий различают молекулярные антенны (рис.9) и фотовольтаические устройства. Большое достоинство дендримеров для использования в искусственном фотосинтезе — гибкость процессов их получения, т.е. возможность осуществлять тонкую настройку молекулярного устройства под нужную частоту, нужную

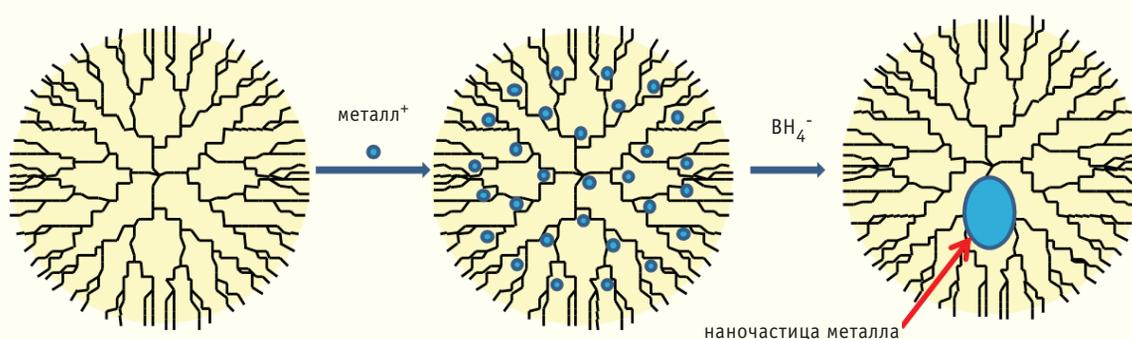


Рис.8. Схема образования металлической наночастицы во внутренней сфере дендримера.

эффективность преобразования световой энергии.

Но и этим не исчерпываются перспективы применения дендримеров, ведь они пригодны также для биомедицинских целей. Главное преимущество этих макромолекул в данной области — возможность создавать на их основе системы доставки лекарств. Дендримеры при этом будут служить молекулярными контейнерами, а сформированная на их поверхности система «распознавания» обеспечит взаимодействие с клеточными мембранами. Исследователи уже научились помещать в существующую в этих полимерах внутреннюю полость разные небольшие молекулы [22]. Прибавим: размеры дендримеров (1–20 нм), используемых в биомедицинской области, вполне сопоставимы с толщиной мембранного слоя живой клетки. Благодаря этому действительно получается очень перспективная совокупность свойств для биологического и медицинского применения.

Надо сказать, что быстрый успех здесь невозможен в силу заповеди «не навреди»; требуются длительные испытания. Тем не менее большинство экспертов выделяет биолого-медицинское направление как безусловно перспективное. В настоящее время расширяется применение дендримеров, содержащих атомы гадолиния, в качестве рентгеноконтрастных реактивов (атомы этого элемента прививают к поверхности полимерной молекулы с помощью хелатных групп). Многочисленные публикации и целые конференции, посвященные медицинскому направлению, свидетельствуют, что эффективное внедрение дендримеров в практику — дело ближайшего будущего.

Использование дендритных макромолекул в качестве контейнеров для доставки лекарств в последнее время получило еще один мощный импульс. Большая группа ученых во главе с В.Перчеком установила, что

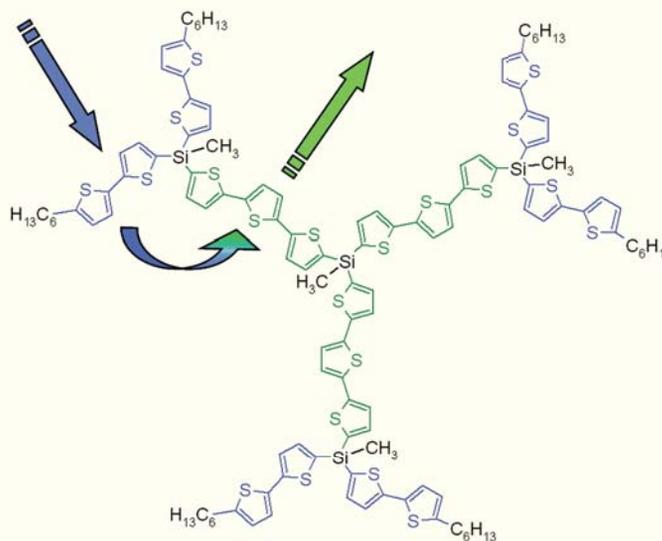


Рис.9. Схема устройства молекулярной антенны.

дендримеры могут быть эффективным дифильным строительным материалом для создания так называемых дендримеросом [23]. Это полимерные аналоги липосом, устроенных подобно клеточным мембранам и хорошо всем знакомых. А липосомы, как известно, вполне пригодны как раз для доставки лекарственных препаратов (не только их и не только для этого). Дендримеросомы могут сильно стимулировать применение дендримеров и для формирования систем доставки лекарств, и в косметике, а также для многих других практических целей.

Еще один стимул для практического использования — способность дендримеров высоких поколений образовывать физическую сетку. Когда удастся понять, как она формируется, и научиться управлять таким процессом, можно будет получать материалы с уникальным уровнем упорядочения аморфных объектов и регулировать свойства самих материалов. Тогда появится возможность создавать новые виды адгезивов, покрытий, мембранных материалов, причем это не потребует дополнительных химических процессов.

* * *

В заключение подчеркнем: дендримеры — уникальный новый класс полимеров, созданный на пересечении естественных наук, математики и компьютерного моделирования. Синтез многообразных дендримеров и изучение их свойств проводятся с привлечением всего арсенала современных физико-химических методов, таких как масс-спектрометрия, нейтронное рассеяние, атомно-силовая и просвечивающая электронная микроскопия. Для дальнейшего изучения дендримеров необходимо развивать гидродинамику полимерных растворов, создавать модели течения полимерных расплавов.

Дендримеры привлекают внимание исследователей разного профиля, работающих в области химии высокомолекулярных соединений и физики твердого тела, кристаллографии и кристаллохимии, а также специалистов по электронике, нелинейной оптике, нейромиметикам и технологии полимерных материалов. Химики эти макромолекулярные полимеры интересуют как вещества, пригодные для разработки новых гомо- и гетерогенных катализа-

торов. Медики и биологи видят в новых объектах полимерной химии прекрасные многофункциональные матрицы для прививки различных биологически активных веществ. Материаловеды дендримеры прельщают

как исходные вещества для приготовления мельчайших молекулярных порошков, не требующего оборудования для измельчения.

В этой небольшой статье мы старались показать, что фак-

тически закончился первый этап исследования дендримеров. Сейчас мы стоим на пороге их широкого использования в областях науки, определяющих современный технический прогресс. ■

Литература

1. Hawker C., Fréchet J.M.J. A new convergent approach to monodisperse dendritic macromolecules // J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1990. V.15. P.1010–1012.
2. Игнатъева Г.М., Ребров Е.А., Мякушев В.Д. и др. Универсальная схема синтеза кремнийорганических дендримеров // Высокомолекул. соед. Сер. А. 1997. Т.39. С.1271–1280.
3. Morikawa A., Kakimoto M., Imai Y. Convergent synthesis of siloxane starburst dendrons and dendrimers via hydrosilylation // Macromolecules. 1992. V.25. №12. P.3247–3253.
4. Tomalia D.A., Naylor A.M., Goddard W.A. III Starburst Dendrimers: Molecular-Level Control of Size, Shape, Surface Chemistry, Topology, and Flexibility from Atoms to Macroscopic Matter // Angew. Chem. 1990. V.29. P.138–175.
5. Advances in dendritic macromolecules. Ed. G.R.Newcome. L., 1996.
6. Vögtle F., Richardt G., Werner N. Dendrimer Chemistry: Concepts, Syntheses, Properties, Applications. Weinheim, 2009.
7. Muzafarov A.M., Rebrov E.A. Polysiloxane and siloxane-based dendrimers // Advances in silicon science. V.2. NY., 2009. P.21–30.
8. Миронова М.В., Семаков А.В., Терещенко А.С. и др. Реология карбосилоновых дендримеров с различным типом концевых групп // Высокомолекул. соед. Сер. А. 2010. Т.52. №11. С.1960.
9. Смирнова Н.Н., Лебедев Б.В., Храмова Н.М. и др. Термодинамические свойства карбосилоновых дендримеров шестой и седьмой генераций с концевыми аллильными группами в области 6–340К // Журн. физ. химии. 2004. Т.78. №8. С.1369–1374.
10. Татарина Е.А., Ребров Е.А., Мякушев В.Д. и др. Синтез и изучение свойств гомологического ряда полиаллилкарбосилоновых дендримеров и их нефункциональных аналогов // Изв. РАН. Сер. хим. 2004. Т.11. С.2484–2493.
11. Kuklin A.I., Ozerin A.N., Islamov A.Kh. et al. Complementarity of small-angle neutron and X-ray scattering methods for the quantitative structural and dynamical specification of dendritic macromolecules // J. Appl. Cryst. 2003. V.36. P.679–683.
12. Гетманова Е.В., Терещенко А.С., Игнатъева Г.М. и др. Дифильные карбосилоновые дендримеры с различной плотностью гидрофильного слоя // Изв. РАН. Сер. хим. 2004. №1. С.134–139.
13. Sheremeteyeva N.A., Voronina N.V., Bystrova A.V. et al. Fluorine-containing Organosilicon Polymers of Different Architectures. Synthesis and Properties Study // Advances in Silicones and Silicone-Modified Materials ACS Symposium Series / Ed. S.J.Clarson et. al. 2010. P.111–134.
14. Терещенко С.А., Тупицына Г.С., Татарина Е.А. и др. Синтез и сравнение свойств карбосилоновых дендримеров с биундецилсилильными, биундецилсилоксановыми и тетрасилоксановыми концевыми группами // Высокомолекул. соед. Сер. Б. 2010. Т.52. №1. С.132–140.
15. Shibaev V.P., Boiko N.I. Liquid Crystalline Silicon-Containing Dendrimers with Terminal Mesogenic Groups // Advances in silicon science. V.2. N.Y., 2009. P.237–284.
16. Гетманова Е.В., Ребров Е.А., Мякушев В.Д. и др. Синтез и сравнение свойств карбосилоновых дендримеров с биундецилсилильными, биундецилсилоксановыми и тетрасилоксановыми концевыми группами // Высокомолекул. соед. Сер. А. 2000. Т.42. №6. С.943–953.
17. Scott R.W. J., Datye A.K., Crooks R.M. Bimetallic Palladium – Platinum Dendrimer-Encapsulated Catalysts // J. Am. Chem. Soc. 2003. V.125. №13. P.3708–3709.
18. Vasilenko N.G., Rebrov E.A., Muzafarov A.M. et al. Preparation of multi-arm star polymers with polythiated carbosilane dendrimers // Macromol.Chem. Phys. 1998. V.199. P.889–895.
19. Howdle S. Supercritical Fluids: Environmentally acceptable replacements for organic solvents – the way ahead. // Conference paper Silicon in Coating II. Florida, 1998. 24–26 March, P.12.
20. Troshin P.A., Susarova D.K., Moskvina Y.L. et al. Impedance measurements as a simple tool to control the quality of conjugated polymers designed for photovoltaic applications // Advanced Functional Materials. 2010. V.20. №24. P.4351–4357.
21. Суриц Н.М., Борщев О.В., Лупоносоев Ю.Н. и др. Спектрально-люминесцентные свойства олиготиофенсилановых дендритных макромолекул // Журн. физ. химии. 2010. Т.84. №11. С.2168–2174.
22. Yiyun C., Zhenhua X., Minglu M., Tonguen X. Dendrimers as drug carriers: Applications in different routes of drug administration // J. Pharma. Sci. 2008. V.97. №1. P.123–143.
23. Percec V., Wilson D.A., Leowanawat P. et al. Self-Assembly of Janus Dendrimers into Uniform Dendrimersomes and Other Complex Architectures // Science. 21 May 2010. P.1009–1014.



Какие элементарные частицы — самые энергичные в мире?

Г.И.Рубцов, С.В.Троицкий

Чтобы проникать все дальше и дальше в глубь материи, специалистам в области элементарных частиц приходится строить все более мощные ускорители — не зря эта наука называется физикой высоких энергий. Если энергия покоя (масса) протона составляет порядка 1 ГэВ, то энергия покоя топ-кварка, наиболее тяжелой из известных сегодня элементарных частиц, приближенно равна уже 175 ГэВ. Сейчас энергия сталкивающихся частиц на Большом адронном коллайдере в системе центра масс достигает приблизительно 7 ТэВ (а в перспективе ее собираются довести до 14 ТэВ). Однако элементарные частицы самых высоких энергий, зарегистрированных экспериментально, рождаются не на ускорителях. Они приходят к нам из космоса и, попадая в атмосферу Земли, рожают каскады частиц — широкие атмосферные ливни (ШАЛ), которые регистрируются специальными установками [1–5].

Энергии исходных частиц в 10^{17} – 10^{20} эВ (или 10^5 – 10^8 ТэВ) на много порядков превышают все известные на Земле «микроскопические энергии» — энергии из мира элементарных частиц. Подобные значения уже относятся к «макроскопическим энергиям» — масштабам энергии из нашей повседневной жизни. Так, легко подсчитать, что 10^{20} эВ \approx 4 кал, т.е. энер-



Григорий Игоревич Рубцов, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института ядерных исследований РАН. Научные интересы связаны с физикой космических частиц сверхвысоких энергий, в частности с описанием их взаимодействия с атмосферой Земли.



Сергей Вадимович Троицкий, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института, специалист в области теоретической физики и астрофизики элементарных частиц высоких и сверхвысоких энергий.

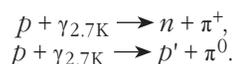
гии одной частицы достаточно, чтобы нагреть 1 г воды на 4°. Еще один наглядный пример — это кинетическая энергия килограммового кирпича, упавшего с высоты человеческого роста! В нашем случае такую энергию несет одна элементарная частица или атомное ядро, движущееся почти со скоростью света.

Предельная энергия космических лучей

Какова же максимальная энергия частиц, приходящих к нам из космоса? Ответ на этот вопрос до определенной сте-

пени связан с теоретическими работами, опубликованными в 1966 г. К.Грейзеном [6] и независимо Г.Т.Зацепиным и В.А.Кузьминым [7]. Они предсказали явление обрезания энергетического спектра космических лучей сверхвысоких энергий, получившее название эффекта Грейзена—Зацепина—Кузьмина (сокращенно ГЗК-эффект). Энергия частиц растрачивается в процессах взаимодействия — ведь пространство Вселенной не пусто. На своем пути от источников протоны сверхвысоких энергий встречают фотоны реликтового излучения — теплового (с температурой 2.7 К)

излучения микроволнового диапазона, заполняющего Вселенную и оставшегося с ранних этапов ее развития. Если энергия в системе центра инерции протона p и реликтового фотона $\gamma_{2.7\text{К}}$ достаточна для рождения дополнительного пи-мезона, то в результате взаимодействия могут возникать вторичный протон p' и нейтральный пи-мезон π^0 или нейтрон n и заряженный пи-мезон π^+ :



Эти реакции имеют порог, т.е. идут только при энергиях протона выше $\sim 10^{19.6}$ эВ (иначе энергии будет недостаточно, чтобы родить пи-мезон*). Длина свободного пробега протона до взаимодействия составляет около шести мегапарсек. При каждом взаимодействии протон теряет в среднем 20% своей энергии, что делает Вселенную практически непрозрачной для частиц с энергиями выше пороговой.

Область энергий, относительно которой сделано предсказание, уже много лет исследуется экспериментально, однако однозначного окончательного ответа на вопрос, действительно ли спектр обрезан при сверхвысоких энергиях, на наш взгляд, до сих пор нет.

В то же время существование космических лучей с энергиями, превышающими 10^{20} эВ, — факт, установленный в нескольких независимых экспериментах, в том числе и в нашей стране. В принципе регистрация на Земле небольшого количества частиц с запредельными энергиями предсказанию Грейзена—Зацепина—Кузьмина не противоречит. Согласно теории, протоны таких энергий могут приходиться к нам от относительно близких источников; кроме то-

го, частицы самых высоких энергий могут быть и не протонами.

Что же известно сегодня о частицах с энергиями 10^{19} эВ и выше? Их поток составляет порядка одной частицы на квадратный километр в год. Плотность потока с ростом энергии спадает по степенному закону. Попадая в атмосферу, частица сверхвысокой энергии взаимодействует с ядром атома азота или кислорода, в результате чего рождается некоторое количество вторичных частиц с меньшими энергиями. Вторичные частицы в свою очередь тоже сталкиваются с ядрами азота и кислорода, образуя еще большее количество еще менее энергичных частиц. Такой каскадный процесс и называют широким атмосферным ливнем. Типичный ШАЛ, вызванный протоном с энергией 10^{19} эВ, содержит на уровне Земли около 10 млрд частиц (в основном электронов, фотонов и мюонов) со средней энергией порядка гигаэлектронвольт, покрывающих площадь около 10 км^2 . Благодаря тому факту, что ливень захватывает значительную площадь, мы и можем фиксировать столь редкие события. Для этого достаточно разместить набор детекторов, регистрирующих частицы, на расстоянии друг от друга. Широкий атмосферный ливень приводит к одновременному срабатыванию нескольких детекторов. Альтернативный метод — регистрация флуоресцентного излучения, вызванного прохождением ШАЛ через атмосферу, с помощью специальных телескопов. Более подробно о методах регистрации ШАЛ читатели «Природы» могут узнать из статьи [2].

От ливня к его источнику

Специфический характер наблюдений ШАЛ рождает много проблем для экспериментаторов. Ведь интерес представляют свойства (прежде всего — тип, энергия, направление прихода) и происхождение первич-

ной частицы, прекратившей свое существование в верхних слоях атмосферы, а регистрируются свойства частиц каскада, достигших Земли. С математической точки зрения задача восстановления характеристик исходной частицы по наблюдаемым параметрам относится к классу «некорректно поставленных», что, однако, не отменяет необходимости ее решать. Общепринятый подход здесь — сравнение характеристик наблюдаемых ШАЛ с такими же характеристиками искусственно смоделированных ливней с заданными параметрами первичной частицы. Помимо теоретических неопределенностей, связанных с моделями развития ливня, этот подход с необходимостью оказывается экстенсивным и ресурсоемким — требуется смоделировать большое количество искусственных ливней с разными первичными частицами, и лишь немногие из полученных ливней будут похожими на реально зарегистрированные. Более того, развитие ливня — процесс вероятностный, поэтому даже совершенно одинаковые первичные частицы могут рождать разные ливни. Если учесть, что полное моделирование одного искусственного ливня, вызванного протоном с энергией $\sim 10^{19}$ эВ, на современном компьютере с тактовой частотой процессора 2–3 ГГц составляет приблизительно один год (вспомним, что такой ливень содержит миллиарды частиц, взаимодействия каждой из которых требуется проследить), становится ясным, что задача в такой постановке даже на настоящий момент технически не решается.

Тем не менее эксперименты, регистрирующие ШАЛ, работают уже несколько десятков лет: впервые гигантский атмосферный ливень, вызванный частицей с энергией порядка 10^{20} эВ, был зарегистрирован на установке Volcano Ranch (Нью-Мексико, США) в 1961 г. [8]. Чтобы получить информацию о первичных частицах, в экспериментах

* Данное значение пороговой энергии соответствует средней энергии реликтовых фотонов; из-за теплового распределения разные фотоны имеют разную энергию, и в среднем порог получается слегка размытым.

использовался описанный выше метод, но не для каждого отдельного события, а «в среднем» — на основе небольшого числа модельных ливней выявлялись общие, усредненные закономерности, которые затем применялись ко всем реальным событиям. Для экономии вычислительных ресурсов было изобретено так называемое приближение прореживания [9], при котором значительное число вторичных частиц в каждом акте взаимодействия заменяется на несколько эффективных частиц, которым приписываются весовые множители и взаимодействия которых далее изучаются. Можно позаимствовать интуицию и изобретательности экспериментаторов 60–70-х годов XX в. (Дж. Линсли, Т. Гайссера, А. М. Хилласа, Г. Б. Христиансена, К. Грейзена), поскольку большая часть полученных таким образом результатов подтверждается при более тщательном моделировании ливней современными вычислительными средствами, а многие полученные ими усредненные соотношения используются и по сей день.

Такой приближенный подход, даже реализованный самым тщательным образом, имеет принципиальный недостаток: оперируя усредненными величинами и эффективными частицами, он не позволяет непосредственно контролировать флуктуации, с неизбежностью возникающие в отдельных взаимодействиях. Когда речь идет об усредненных характеристиках потока космических лучей в области большой статистики (тысячи событий), этот недостаток относительно безобиден. Но при самых высоких энергиях число зарегистрированных ШАЛ невелико и флуктуации становятся существенными. Для получения надежной информации о первичных частицах при таких энергиях, а также для поиска тонких эффектов и необычных явлений при более низких энергиях требуется повышение точно-

сти сравнения наблюдаемых и модельных ливней.

Первым в мире экспериментом, где отказались от традиционного подхода, основанного на усреднении, и освоили (пока лишь для некоторых задач) метод непосредственного сравнения каждого наблюдаемого события с большим количеством модельных, стала Якутская комплексная установка по регистрации ШАЛ. Необходимая работа по оптимизации методов анализа и по моделированию большого количества искусственных ливней была проделана московскими теоретиками. Так, в Институте ядерных исследований (ИЯИ) РАН была создана уникальная база данных, содержащая несколько десятков тысяч модельных ливней. В то время как основная часть их смоделирована с применением прореживания (в современной модификации), несколько десятков ШАЛ были смоделированы полностью, что потребовало около года вычислений на компьютерном кластере теоретического отдела ИЯИ. Положенные в основу единственной библиотеки модельных ШАЛ, открытой для любого пользователя в мире*, эти уникальные модельные ливни позволили оценить флуктуации различных наблюдаемых и обосновать методы использования обычных, приблизительно смоделированных ливней [10, 11]. Эта база данных была использована для получения результатов по составу первичных частиц, о которых речь пойдет ниже. Для оценки энергии первичных частиц самых больших ливней использовалась другая модификация метода, разработанная и примененная в Научно-исследовательском институте ядерной физики МГУ.

Якутская установка

Созданная в 1973 г. в селе Октемы (55 км от Якутска), Якут-

* Интернет-адрес библиотеки <http://livni.inr.ac.ru>.

ская комплексная установка ШАЛ (рис.1) работает до сих пор. Сейчас она насчитывает 59 станций наблюдения (рис.2), в каждой из которых установлен сцинтилляционный детектор** и (в большинстве из них) оптический приемник излучения Вавилова—Черенкова***, а также 6 подземных мюонных детекторов. Станции размещены в узлах треугольной решетки со стороны 500 м (в центральной части установки детекторы сближены до расстояния 250 м). Общая площадь установки 10 км².

Расположенный на поверхности земли сцинтилляционный детектор регистрирует суммарный отклик сцинтиллятора от всех попадающих на него частиц (электронов, фотонов и мюонов). Мюонный детектор (рис.3) представляет собой сцинтилляционный детектор, закопанный на глубину 2–3 м, куда практически не проникают электроны и фотоны. Черенковский детектор (рис.4) улавливает черенковское излучение, рождаемое энергичными частицами в ливне. Солнечный и лунный свет намного интенсивнее черенковского, поэтому этот детектор работает только в безлунные ночи; чтобы световой сигнал не рассеивался, требуется также отсутствие облаков.

Когда три детектора в вершинах одного из треугольников срабатывают с относительной задержкой, не превышающей нескольких микросекунд, информация со всех детекторов поступает в центр управления установкой. Требование одновременности срабатывания необходимо для того, чтобы из потока частиц, достигающих Земли, выделить только те, кото-

** Сцинтилляция — кратковременная световая вспышка, возникающая в некоторых веществах (сцинтилляторах) под действием ионизирующего излучения. В Якутской установке используются пластиковые сцинтилляторы.

*** Излучение Вавилова—Черенкова — свечение, вызываемое в среде заряженной частицей, которая движется со скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой среде.



Рис.1. Расположение детекторов Якутской установки ШАЛ на спутниковом снимке. Сейчас работают 59 наземных станций (○) и шесть подземных детекторов мюонов (◇), включая большой мюонный детектор (площадью 180 м², на схеме не показан).



Рис.2. Станция наземного наблюдения с установленным на ней детектором черенковского излучения.

рые связаны с ШАЛ достаточно высокой энергии. Событие отображается на дисплее и регистрируется в базе данных. Вообще ШАЛ фиксируются раз в 3–4 мин (в основном они вызваны первичными частицами с энергиями порядка 10^{17} эВ — частицы меньших энергий не порождают ливень достаточного размера для надежной регистрации на Якутской установке). А наиболее интересные события с энергиями выше 10^{20} эВ регистрируются установкой в среднем раз в 10 лет! В базе данных также хранится информация о метеорологических условиях и журнал неисправностей отдельных детекторов. Центр управления установкой способен работать в автоматическом режиме, но для оперативного устранения любых неисправностей дежурит группа инженеров. Кроме того, оператор следит за корректностью работы аппаратуры, в том числе и в ночное время. Для анализа состояния и параметров атмосферы в составе установки имеется мощный лазер — лидар (рис.5).

В мире на настоящий момент работают несколько комплексов, регистрирующих космические лучи сверхвысоких энергий. Якутская установка уникальна возможностью независимо измерять плотности электронов, мюонов и черенковских фотонов в ШАЛ, что позволяет сравнивать различные экспериментальные методы и проверять многие теоретические модели (в то время как полный сигнал во всех компонентах ШАЛ в значительной степени определяется энергией первичной частицы, распределение его между различными компонентами чувствительно к модели взаимодействия частиц).

Сейчас при поддержке Российской академии наук, Министерства образования и науки и РФФИ установка модернизируется. В рамках модернизации планируется улучшить точность существующих детекторов и установить приборы новых типов, например сцинтилляционные и



Рис.3. Подземный мюонный детектор площадью 20 м².



Рис.4. Один из детекторов черенковского излучения.

мюонные детекторы, регистрирующие не только суммарный сигнал, но и временную развертку сигнала с шагом порядка 10 нс. Благодаря этому можно будет определять дополнительные наблюдаемые величины, связанные с формой и развитием фронта ливня.

Новые результаты

Обратимся к некоторым из результатов, которые удалось полу-

чить благодаря симбиозу сложной экспериментальной установки, сочетающей детекторы разных типов, и современных методов обработки данных. Не касаясь ряда других интересных вопросов, многие из которых остаются открытыми (форма энергетического спектра при самых высоких энергиях, причины расхождения результатов разных установок, природа астрофизических ускорителей — источников столь энергичных частиц и т.д.), остановимся на

одной из основных проблем реконструкции ШАЛ — определении типа первичной частицы. Хотя этот момент является ключевым и влияет на все остальные реконструированные параметры (ШАЛ, вызванные разными частицами, развиваются по-своему, поэтому различными оказываются энергии первичных частиц, реконструированные в тех или иных предположениях об их типе; заряд частицы определяет искривление ее траектории в космических магнит-

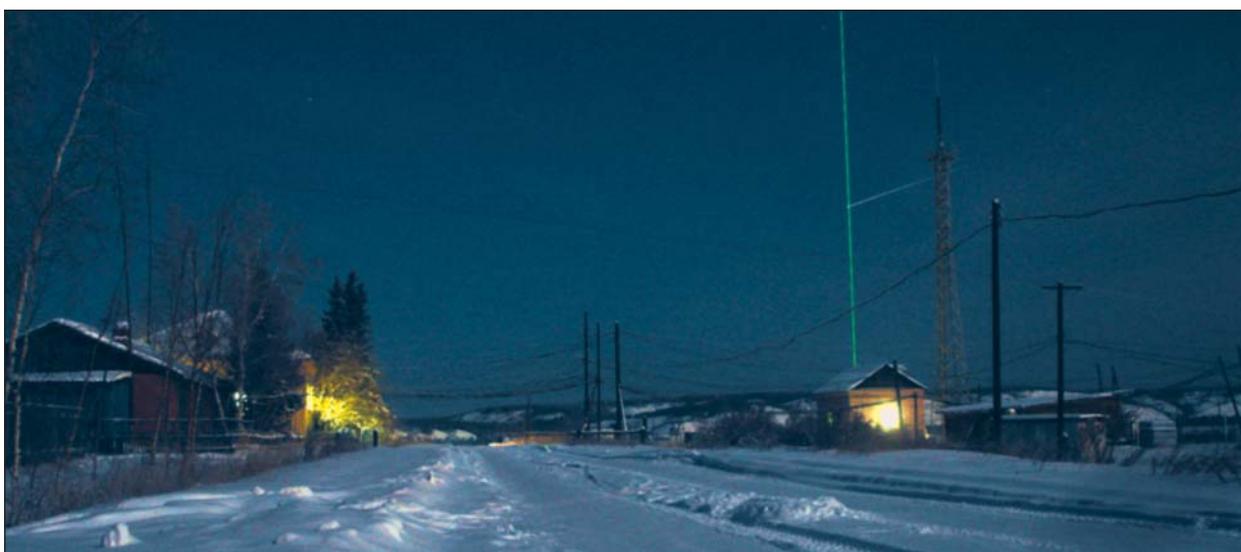


Рис.5. Сеанс работы лидара (вертикальный зеленый лазерный луч). Горизонтальный след на небе — случайно пролетевший метеор.

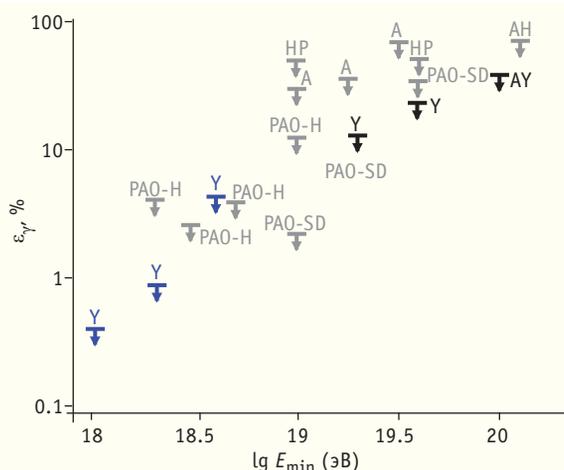


Рис.6. Ограничения сверху [14] на долю первичных фотонов ϵ_γ среди космических частиц с энергией, превышающей отложенную по горизонтальной оси, по данным установок: Якутской (Y), Обсерватории им.П.Оже (PAO-H, PAO-SD — разные методы), AGASA (A, AH), Haverah Park (HP), совместного анализа AGASA и Якутской установки (AY).

ных полях и тем самым влияет на поиск астрофизических источников и т.д.), ясности в данном вопросе нет. Дело в том, что ШАЛ, вызванные фотонами, протонами или более тяжелыми ядрами, развиваются все же весьма похожим образом, и требуются специальные наблюдаемые величины, позволяющие их различить. Наилучшая из таких наблюдаемых — доля мюонов среди всех частиц ШАЛ.

До недавнего времени вопрос о так называемом химическом составе космических частиц сверхвысоких энергий решался лишь в среднем — говорилось об определенной доле тяжелых или легких ядер, но ничего нельзя было сказать о первичной частице отдельно взятого ливня. Новые методы анализа [12], примененные для обработки якутских данных, позволяют дать вероятностную характеристику типа первичной частицы для каждого события. Для этой цели каждое зарегистрированное событие сравнивается с несколькими сотнями модельных, имеющих то же направление прихода, что и реальное, но разные энергии первичной частицы. Для каждого модельного события восстанавливают-

ся (точно тем же способом, что и для реального, с учетом смоделированного отклика детектора) сигналы сцинтилляционных и мюонных детекторов. Из них отбираются те, у которых сигнал на сцинтилляторах совпадает с наблюдаемым в пределах ошибок, а затем распределение мюонных сигналов отобранных событий сравнивается с реальным мюонным сигналом. Процедура может повторяться для наборов модельных событий, вызванных разными первичными частицами, в зависимости от задачи.

Насколько различаются ШАЛ, вызванные первичными протонами и тяжелыми ядрами, зависит от модели развития ливня. Тем не менее простое требование отсутствия ядер легкого водорода и тяжелее железа (более тяжелые ядра не встречаются в космосе) приводит к резкому сужению круга допустимых моделей и к выводу о том, что среди первичных частиц ШАЛ самых высоких энергий присутствуют приблизительно в равной пропорции как легкие, так и тяжелые ядра [13]. Этот результат важен для поиска источников космических лучей и изучения астрофизических ускорителей.

В то же время исключить первичные фотоны модельно-независимым образом с высоким уровнем достоверности оказывается возможным — часто даже для отдельно взятого события. Необходимым условием этого служит одновременное детектирование электромагнитной (фотонов и активно рождаемых ими электронов и позитронов) и мюонной компонент ШАЛ: полный сигнал определяет энергию первичной частицы, а распределение его между компонентами зависит от ее типа. На настоящий момент из всех экспериментальных установок для регистрации ШАЛ, вызванных первичными частицами с энергиями выше 10^{18} эВ, такая возможность реализована только в Якутске. Пока ни один первичный фотон с подобной энергией не был обнаружен, и разные эксперименты лишь ставят ограничения на возможный поток фотонов сверхвысоких энергий (рис.6). Хотя площадь Якутской установки почти в 100 раз меньше площади крупнейшего инструмента для регистрации ШАЛ — Обсерватории им.П.Оже (Аргентина), видно, что ограничения, полученные из якутских данных [14], для многих энергий являются лучшими в мире.

Поиск фотонов сверхвысоких энергий — задача весьма интересная с разных точек зрения. Прежде всего, заметная доля первичных фотонов предсказывается в самых разных сценариях, связанных с так называемой новой физикой — пока не открытыми частицами и взаимодействиями. Здесь и модели сверхтяжелых частиц темной материи, и топологические дефекты — крупномасштабные солитоноподобные конфигурации новых полей, и смешивание фотонов с новыми сверхлегкими частицами — аксионами или зеркальными фотонами, и даже нарушение лоренц-инвариантности. Действительно, в большинстве теоретических моделей сверхтяжелые частицы и топологические

дефекты распадаются примерно одинаковым образом — вне зависимости от начального модельно-зависимого взаимодействия, конечные продукты распада представляют собой в основном пи-мезоны, причем π^0 , π^+ и π^- рождаются в примерно равной пропорции. Нейтральные пионы практически сразу же распадаются на два фотона каждый, что и приводит к тому, что примерно одна треть энергии первоначальной частицы уносится энергичными фотонами. Когда речь идет об аксионах или зеркальных фотонах, имеется в виду механизм «консервации» фотонного излучения и передачи его на расстояния, во много раз превышающие длину свободного пробега фотона во Вселенной: энергичный фотон, вместо того чтобы рассеяться на других заполняющих Вселенную фотонах, превращается в гипотетическую частицу, практически не взаимодействующую с веществом и излучением;

обратное превращение в фотон может при определенных условиях произойти недалеко от наблюдателя. Таким образом, фотоны в этом сценарии «собираются» со значительно большей части Вселенной, чем обычно. Наконец, в моделях с нарушением лоренц-инвариантности модифицируются пороги и вероятности всех процессов взаимодействия частиц, в частности ГЗК-процесса, что также может привести к появлению дополнительных фотонов. Кроме того, даже для классического сценария, когда основную часть космических лучей составляют протоны и ядра, ускоренные в астрофизических источниках, количество фотонов с энергиями порядка 10^{18} эВ служит индикатором состава космических частиц в практически неизученной области энергий выше или порядка 10^{20} эВ (из-за ГЗК-эффекта протоны, распространяясь через Вселенную, рождают значительно большее коли-

чество вторичных фотонов, чем тяжелые ядра).

* * *

Не будет преувеличением сказать, что действующая в окрестности Якутска уникальная физическая установка имеет мировое значение. Более чем 35 лет работы дали ощутимые результаты: регистрацию нескольких событий с энергией космической частицы выше 10^{20} эВ, измерение спектра космических лучей сверхвысоких энергий, выводы о химическом составе первичных частиц. Сочетание различных методов детектирования одних и тех же ШАЛ и пионерских методов анализа данных, реализованных якутскими экспериментаторами и московскими теоретиками, позволило на относительно небольшой установке с немолодым оборудованием получить результаты мирового класса, а в ряде случаев — лучшие в мире. ■

Авторы благодарны коллективу Якутской установки за плодотворное сотрудничество, за гостеприимный прием и за предоставленные иллюстрации к статье.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 10-02-01406а и 11-02-01528а), фонда «Династия», грантов Президента РФ (НШ-5525.2010.2, МК-1632.2011.2) и Министерства образования и науки (контракты 02.740.11.0244 и П2598).

Литература

1. Хренов Б.А. Космические лучи самых высоких энергий // Наука и жизнь. 2008. №10. С.3—8.
2. Хренов Б.А., Панасюк М.И. Посланники космоса: дальнего или ближнего? // Природа. 2006. №2. С.17—25.
3. Рубцов Г.И. Якутская комплексная установка для регистрации широких атмосферных ливней // Потенциал. 2008. №6(42). С.3—7.
4. Nagano M., Watson A.A. // Observations and Implications of the Ultrahigh-Energy Cosmic Rays // Rev. Mod. Phys. 2000. V.72. P.689—732.
5. Деденко Л.Г., Зацепин Г.Т. Космические лучи сверхвысоких энергий // Ядерная физика. 2005. Т.68. С.449—467.
6. Greisen K. End to the Cosmic Ray Spectrum? // Phys. Rev. Lett. 1966. V.16. P.748—750.
7. Зацепин Г.Т., Кузьмин В.А. О верхней границе спектра космических лучей // Письма ЖЭТФ. 1966. Т.4. С.114—117.
8. Linsley J. Evidence for a Primary Cosmic-Ray Particle with Energy 10^{20} eV // Phys. Rev. Lett. 1963. V.10. P.146—148.
9. Hillas A.M. Shower Simulation: Lessons from Mokka // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 1997. V.52B. P.29—42.
10. Kuzmin V.A., Rubtsov G.I. No-thinning simulations of extensive air showers and small scale fluctuations at the ground level // Письма ЖЭТФ. 2007. Т.85. С.535—538.
11. Gorbunov D.S., Rubtsov G.I., Troitsky S.V. Air-shower simulations with and without thinning: Artificial fluctuations and their suppression // Phys. Rev. D. 2007. V.76. P.043004.
12. Gorbunov D.S., Rubtsov G.I., Troitsky S.V. Towards event-by-event studies of the ultrahigh-energy cosmic-ray composition // Astropart. Phys. 2007. V.28. P.28—40.
13. Glushkov A.V. et al. Muon content of ultrahigh-energy air showers: Yakutsk data versus simulations // Письма ЖЭТФ. 2008. Т.87. С.220—224.
14. Glushkov A.V. et al. Constraints on the flux of primary cosmic-ray photons at energies $E > 10^{18}$ eV from Yakutsk muon data // Phys. Rev. D. 2010. V.82. P.041101.

Пагубная страсть, гены и дофамин

А.Е.Тараскина

Влекущая сила алкогольных напитков передалась нам от наших далеких предков, которые видели в них божественное начало. Еще в Древней Греции люди поклонялись богу вина Дионису (в римской мифологии — Бахусу). В посвященных Дионису торжествах, сопровождавшихся распитием вина и безумными танцами, наши прапрадеды стремились к единению с богом и не видели ничего предосудительного. И только спустя много веков возникла проблема алкоголизма, убивающего человечество. Всемирная ассамблея здравоохранения на своей 58-й сессии в резолюции о «Проблемах общественного здравоохранения, вызываемых вредным употреблением алкоголя» признала, что «вредное употребление алкоголя находится среди основных причин заболеваний, травм, насилия, инвалидности, преждевременной смерти». За последние два столетия стало очевидным, что алкоголизм переходит границы чисто медицинского (биологического) вопроса, перерастая в социальную проблему.

Что же толкает людей пить? Уход от реальности в стремлении к совершенству, к поиску гармонии человека и всего человечества, к обретению состояния единства духа, тела и души — не в этом ли манящая сила алкоголя? Еще в далеком Средневековье алхимики, которые глядели на мир как на фило-

После первого стакана абсента ты видишь вещи такими, такими ты хочешь их видеть; после второго ты видишь их такими, какими они не являются.

И лишь много позже, в конце концов ты начинаешь видеть вещи такими, какие они есть, а это и есть самое ужасное...

Оскар Уайльд



Анастасия Евгеньевна Тараскина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики человека отдела молекулярной и радиационной биофизики Петербургского института ядерной физики им.Б.П.Константинова РАН. Область научных интересов — молекулярные основы наследственности аддиктивных расстройств, роль дофаминергической нейротрансмиссии в формировании алкогольной зависимости.

софскую систему, в которой дух и материя неразрывно связаны, искали единения внутреннего Я человека с его оболочкой с помощью химических веществ. В XIX в. в образованных слоях общества получил распространение абсент, напиток богемы. Его пили и восхваляли Мопассан, Ван Гог, Рембрандт, По, Бодлер, Аполлинер, Уальд, Дега, Мане, Пикассо, Ремарк и др. Считалось, что этот напиток, называемый еще «Зеленой Феей», рождает в сознании причудливые поэтические образы. Как говорил Поль Верлен, абсент — «третий глаз поэта, он растапливает лед души».

Что же позволяет ощутить единение души и тела после принятой дозы алкоголя? Ответ прост — маленькие молекулы, нейромедиаторы, которые управляют всем нашим организмом и всеми нашими эмоциями. Они сообщают нам, когда организму холодно или жарко, когда мы устали или хотим есть, и они

же, активизированные алкоголем, «открывают нам глаза» на мир. Нейромедиаторы, высвобождаясь в синаптическую щель из аксона одного нейрона и связываясь с дендритами другого, обеспечивают передачу нервного импульса по всему телу, но сигнал к определенным действиям идет из центра управления, головного мозга.

Нейрофизиологические и нейрохимические процессы головного мозга, запуск которых стимулирует алкоголь, локализованы в самой эволюционно примитивной структуре мозга — лимбической, играющей важную роль в реализации инстинктивного поведения. Там находится так называемая «система удовлетворения», или «система подкрепления» (англ. reward system), отвечающая за эмоциональное состояние человека. При этом центральную роль в патогенезе синдрома алкогольной зависимости занимают мезолимбическая дофаминергическая ней-

ротрансмиссия и дисфункции в ее работе [1].

Метаболические циклы дофаминергической системы происходят в прилежащем ядре, базальном переднем мозге и вентральной тегментальной области среднего мозга (в ней и синтезируется дофамин), связанной с прилежащим ядром мезоаккумбенным дофаминовым трактом. Дофамин, синтезируемый в телах нейронов, расположенных на уровне среднего мозга, по дофаминовому тракту попадает в область удовлетворения и субъективной эйфории. Он активирует находящиеся там дофаминовые рецепторы, которые регулируют выброс нейротрансмитера. Нейроны вентральной тегментальной области кодируют и передают информацию об уровне удовлетворения в лобные доли мозга. Однократный прием алкоголя вначале усиливает выброс дофамина, обусловленный, вероятно, мембранотропным действием алкоголя на пресинаптические рецепторы. После выброса дофамина срабатывает механизм обратной регуляции, который не просто нормализует состояние системы, а создает временный дефицит этого нейромедиатора в синаптической щели и жидкостях организма. Возможно, это служит одним из побуждающих факторов к повторению приема этанола. При длительном употреблении алкоголя обмен дофамина нарушается, функции дофаминергических нейронов изменяются и в конечном счете формируются алкогольная зависимость и абстинентный синдром [1].

Эффективность работы всей дофаминергической системы зависит от функциональной активности ее ключевых белков, в первую очередь рецепторов дофамина, участвующих в передаче нейромедиатора; α -синуклеина, негативно влияющего на синтез дофамина, и транскрипционного фактора Nurr1, который определяет закладку дофаминовых нейро-

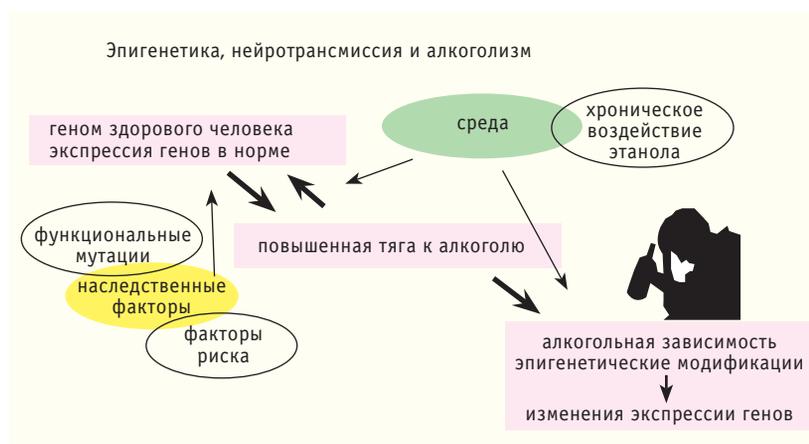


Рис.1. Схема механизма формирования алкогольной зависимости, сопровождающаяся изменениями экспрессии генов вследствие эпигенетических процессов. Уровень экспрессии генов основных белков нейротрансмиссии изменяется в процессе нейроадаптации и характеризует фенотип больного с синдромом алкогольной зависимости.

нов в онтогенезе и влияет на работу ряда генов в уже дифференцированных тканях.

Генетическая предрасположенность

Широко распространено мнение, что алкоголизм — генетически обусловленное заболевание, передающееся по наследству. Раз этим недугом страдал твой отец, то и тебя эта беда не обойдет стороной. Ты тут ни при чем, во всем виноваты твои гены. Тогда логично предположить, что, поскольку белки дофаминергической передачи нервного импульса непосредственно регулируют обмен дофамина, аллельные варианты их генов с «неблагоприятной мутацией» могут быть связаны с нарушением функций всей системы. Но многочисленные поиски таких вредных аллелей, участвующих в развитии алкоголизма, не внесли ясности в понимание механизмов формирования данного заболевания.

В настоящее время можно однозначно сказать, что предрасположенность к алкоголизму формируют аллельные варианты большого числа генов, и вероятно, у разных индиви-

дуумов они разные. Но до сих пор не ясно, каково взаимовлияние аллельных вариантов генов, задействованных в метаболизме этанола, и генов, участвующих в нейродегенеративных изменениях при формировании алкоголизма. Более того, статистические расчеты показывают, что носительство «неблагоприятных» аллелей не критично для начала прогрессирования алкогольной зависимости.

Сегодня известно, что участие наследственного компонента в формировании алкогольной зависимости составляет от 40 до 60% от общего риска ее развития. Наряду с генетическими причинами не менее важны социальные и психологические факторы, а также длительная алкогольная интоксикация организма (рис.1). Исследования, проведенные в Финляндии на монозиготных близнецах, продемонстрировали сильную зависимость проявлений генетической предрасположенности от внешних факторов. У людей, оказавшихся в различных социальных условиях, гены с одинаковой структурной организацией начинают функционировать по-разному [2, 3]. Такой феномен связывают с изменениями эпигенома.

Геном, предопределяющий рост и развитие организма, — не мертвый текст, передающийся от поколения к поколению. Скорее он напоминает невероятно сложный биохимический механизм, действующий в трехмерном пространстве и состоящий из нескольких взаимосвязанных частей. Эпигеном (от греч. *επι* — над) — это обратимые наследственно обусловленные биологические факторы, которые закодированы в геноме опосредованно. Так, клонированные животные имеют различный эпигенетический профиль, а монозиготные близнецы различаются по метилированию ДНК.

В настоящее время выделяют два основных эпигенетических механизма. К первому относят модуляцию структуры хроматина, включающую метилирование ДНК, модификации гистонов (ацетилирование, метилирование, фосфорилирование, убиквитинирование и т.п.) и позиционирование нуклеусом. Второй механизм связан с транскрипцией генов регуляторных малых интерферирующих РНК, siRNA [4, 5]. Адаптация организма к воздействию алкоголя вследствие эпигенетических процессов может изменять активность генов.

Что же происходит с работой генов при алкоголизме? При длительном приеме крепких напитков включается механизм нейрональной пластичности: в различных областях мозга меняется активность некоторых генов [2]. Причиной могут быть эпигенетические модификации, влияющие на транскрипцию генов и трансляцию мРНК, синтез белков и транспорт матричных белков к местам их внутриклеточного действия.

При развитии алкогольной зависимости выделяют три стадии нарушений работы генов [3]:

— острую, когда однократный прием алкоголя вызывает резкий скачок в активности генов, с быстрой нормализацией (от нескольких часов до 1 сут);

— переходную, при которой с каждым повторным приемом алкоголя изменения в работе нейронов накапливаются и нормализация занимает уже несколько дней;

— конечную, когда наступает зависимость (желание принять алкоголь непреодолимо, контроль дозы спиртного ослаблен, чувство удовольствия понижено) и уровень экспрессии уже не меняется.

Участники алкогольной зависимости

В организме млекопитающих главный источник дофамина — дофаминергические нейроны среднего мозга. Известно также, что синтезируется он не только в иммунных клетках (например, в лимфоидных), его содержат на своей поверхности основные классы дофаминовых рецепторов — D1, D2, D3, D4, D5 [6].

В последние годы внимание исследователей привлекают вопросы взаимодействия иммунной, нервной и эндокринной систем [7]. Иммунная система распознает внешние и внутренние антигенные сигналы разной природы, запоминает их и с помощью цитокинов передает информацию через кровотоки в центральную нервную систему (ЦНС). Там сигналы после обработки воздействуют на иммунную систему через нейропептиды, нейротрансмиттеры и гормоны гипоталамо-гипофизарной системы.

Ключевое соединение, определяющее нейроиммунные взаимодействия, — дофамин [8—11]. Его контакт с лимфоцитами происходит не только в лимфоидной ткани, содержащей синтезирующие дофамин нервные волокна, но также в спинномозговой жидкости и плазме крови. Наиболее тесно иммунные клетки взаимодействуют с дофамином в иннервируемых лимфоидных органах, таких как селезенка и лимфатические узлы. Кроме того, лимфоциты могут ис-

пытывать действие дофамина, продуцированного собственными иммунными клетками.

В последнее время в целом ряде лабораторий установлено, что дофамин взаимодействует с рецепторами Т-лимфоцитов и активирует их клеточные функции — синтез цитокинов, клеточную адгезию и миграцию [8—11]. Результаты исследований позволяют предположить, что дофамин может запускать слипание Т-клеток, активируя рецепторы D3 и, возможно, D2. Согласно некоторым данным, низкие концентрации дофамина (0.1—5 мкМ) угнетают спонтанный апоптоз в Т-лимфоцитах, а его повышенные концентрации (100—500 мкМ), напротив, стимулируют этот процесс [12]. Суммируя работы различных авторов, можно сделать вывод, что дофамин в основном играет роль супрессора в отношении лимфоцитов, а его участие в активации, пролиферации, дифференциации Т-лимфоцитов и индукция апоптоза связаны с работой дофаминовых рецепторов. Сам медиатор вовлечен в апоптоз нейтрофилов и регуляцию функций моноцитов.

И эндогенный дофамин (т.е. синтезированный внутри лимфоидной клетки), и экзогенный имеют множественные точки воздействия на клетку [13]. Внутриклеточный, способный проникать в ядро лимфоцита, может менять транскрипционную активность генов. Внеклеточный может участвовать в спонтанном окислении, что приводит к образованию орто-хинонов — свободных радикалов, которые негативно влияют на клеточный цикл. Но основной мишенью воздействия дофамина на иммунную клетку служат дофаминовые рецепторы.

Считается, что при развитии алкоголизма изменение экспрессии основных белков дофаминергической системы в лимфоцитах нарушает регуляцию активности Т-лимфоцитов, снижает их иммунологические

свойства (нарушения в продукции цитокинов, приводящие к дисбалансу их соотношения), вызывая гибель клеток.

Что же конкретно происходит при алкоголизме с рецепторами дофамина и с их генами? Мы сравнили активность ключевых белков дофаминергической нейротрансмиссии (рецепторов дофамина, α -синуклеина и транскрипционного фактора Nurr1) у людей, страдающих алкоголизмом, и в контрольной группе не потребляющих спиртные напитки [14]. Оказалось, что при алкоголизме экспрессия генов α -синуклеина и рецептора D4 достоверно увеличена (рис.2). При этом количество лимфоцитов с рецепторами D2, D3 и D4 в исследуемых двух группах было одинаковым (рис.3) [15]. Следовательно, у пациентов с алкоголизмом повышенная активность в лимфоидных клетках гена рецептора D4 не связана с его количеством на плазматической мембране. Значит, при алкоголизме усиливается транскрипция этого гена, увеличивается уровень мРНК, но окончательной сборки белка или закоривания избыточных рецепторов на мембране не происходит. При этом количество лимфоцитов, несущих тот или иной тип рецептора, коррелировало с числом клеток, имеющих другие типы рецепторов дофамина независимо от наличия заболевания.

В группе с алкогольной зависимостью количества В-клеток, имеющих рецепторы дофамина, достоверно снижалось, что отражает расстройство гуморального иммунитета. В то же время различий в числе лимфоцитов, несущих разные типы рецепторов, так же как и для общей популяции лимфоцитов, не наблюдалось. При этом на В-клетках значительно больше рецепторов D3 (62%), а на других лимфоидных клетках — рецепторов D2 и D4 (8 и 11% соответственно). Распределение дофаминовых рецепторов в разных группах лейкоцитов и

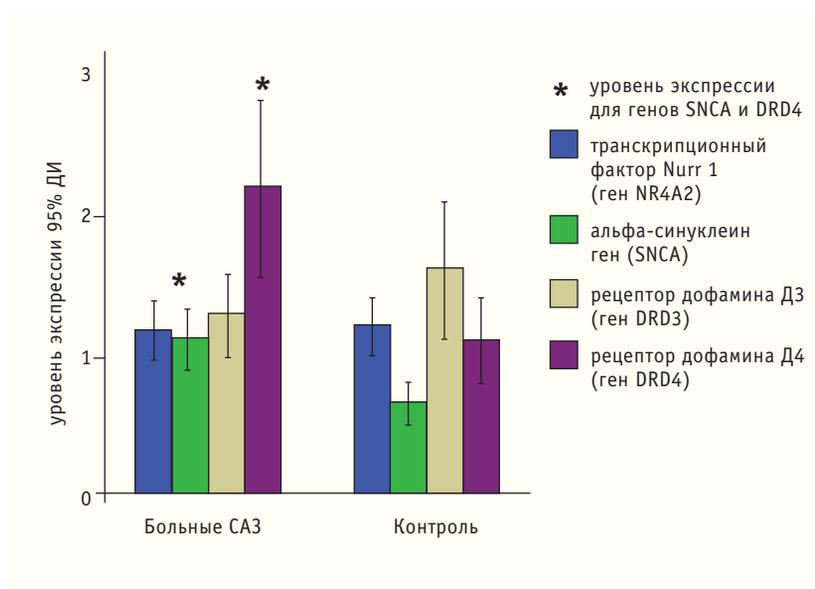


Рис.2. Активность генов ключевых белков дофаминовой нейротрансмиссии у больных с алкогольной зависимостью и в контрольной группе.

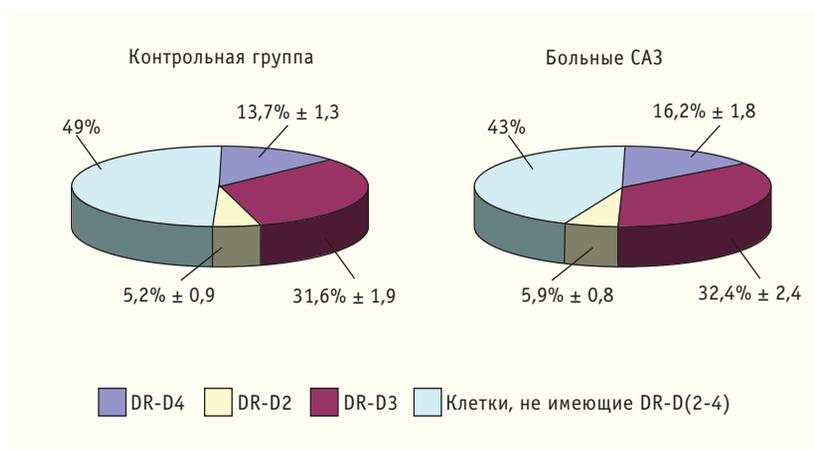


Рис.3. Содержание лимфоцитов периферической крови, несущих дофаминовые рецепторы D2, D3 и D4 (среднее значение (%) ± стандартная погрешность).

даже подгруппах мононуклеарных клеток, сформировавшихся из общей лимфоидной клетки-предшественника, можно объяснить их различной региональной принадлежностью. Так, рецепторы D1, D2 и D5 в основном представлены на дофаминергических нейронах стриатума, лимбической системы и обонятельной луковицы, а также в префронтальных и премоторных подкорковых областях; D3 и D4 — на нейронах лимбической системы; D4 — на нейронах фронтального кортекса [16].

Биогенные амины, включая дофамин, обладают плейотропным эффектом в течение работы всей системы нейротрансмиссии человека. Они задействованы при многих нарушениях когнитивных функций и гомеостаза ЦНС взрослого [17]. В настоящее время обнаружено, что при различных нейропсихических заболеваниях, в том числе и при алкоголизме, изменяется активность генов, кодирующих дофаминовые рецепторы [18, 19]. Однако перестройки в работе генов, видимо, не влия-

ют на количество рецепторов на мембране лимфоцита, т.е. это постоянное число в разных условиях, также и при хроническом употреблении этанола.

Четкая корреляция между количеством лимфоцитов, несущих те или иные типы рецепторов дофамина (при увеличении числа клеток с рецепторами одного типа увеличивалось количество клеток с другими типами), значительные отличия в числе лимфоцитов с дофаминовыми рецепторами у разных пациентов отражают, скорее всего, индивидуальность. Так, по генетически обусловленной концентрации глюкостероидов, секретируемых гипоталамо-гипофизарной системой в ответ на прием алкоголя, выделяют людей с высоким или низким содержанием кортизола. Это составляет одно из звеньев нейроиммунноэндокринной регуляции организма человека [7].

Таким образом, ключевую роль в развитии алкогольной зависимости играет дофаминергическая нейротрансмиссия: любое употребление спиртосодержащих напитков (даже однократный прием) приводит к адаптивным изменениям в работе генов, которые кодируют белки, испытывающие прямое или опосредованное действие этанола.

В данном случае дисфункции в работе генов могут вызывать различные промежуточные факторы. Среди них образующиеся в ходе обмена новые биоактивные соединения (источник ацетальдегид). Они нарушают нормальный клеточный метаболизм, влияют на работу клеточных транскрипционных факторов и в итоге вызывают эпигенетические модификации структуры самих генов. На конечной стадии заболевания алкоголь не меняет уровень активности генов, формируется определенный фенотип дофаминергической нейротрансмиссии: активность генов α -синуклеина и рецептора дофамина D4 повышена, а количество лимфоидных клеток, несущих рецепторы D4, остается прежним.

В настоящее время лечение алкогольной зависимости остается одним из актуальных вопросов современной медицины. Нам кажется, что основная проблема антиалкогольной терапии связана с отсутствием индивидуального подхода. На современном рынке представлены нейротропные агенты, способные модулировать все нейротрансмиттерные системы, задействованные в патогенезе алкоголизма. Но назначаются они пациенту вслепую, без уче-

та его особенностей нейротрансмиссии (различий в распределении рецепторов, их функциональной активности). Мы считаем, что направленная терапия с учетом индивидуальных свойств организма приведет к прорыву в лечении алкоголизма.

Главная цель нашего исследования и состоит в подборе быстро диагностируемых показателей нейротрансмиссии, наиболее точно отражающих индивидуальные особенности, на основании которых будет возможна корректировка терапии. При этом мы планируем не останавливаться на анализе параметров только дофаминергической системы. Ведь ее работа тесно связана с целым спектром нейромедиаторов, оказывающих на нее возбуждающее или тормозящее действие (γ -аминомасляная кислота, глутаминовая кислота, нейропептиды). Только комплексная оценка параметров, характеризующих со всех сторон дофаминергическую нейротрансмиссию, позволит выявить один или несколько максимально информативных критериев, которые смогут войти в клиническую практику для эффективного лечения, исходя из индивидуальных особенностей пациента. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-04-49075-а.

Литература

1. *Fadda F., Rossetti Z.L.* Chronic ethanol consumption: from neuroadaptation to neurodegeneration // *Progress in Neurobiology*. 1998. V.56. P.385—431.
2. *Nestler E.J.* Molecular mechanisms of drug addiction // *Neuropharmacology*. 2004. V.47. №1. P.24—32.
3. *Kalivas P.W., Volkow N.D.* The neural basis of addiction: a pathology of motivation and choice // *Am. J. Psychiatry*. 2005. V.162. №8. P.1403—1413.
4. *Shukla S.D., Velazquez J., French S.W. et al.* Emerging role of epigenetics in the actions of alcohol // *Alcoholism: Clinical and experimental research*. 2008. V.32. №9. P.1525—1534.
5. *Shilatifard A.* Chromatin modifications by methylation and ubiquitination: implications in the regulation of gene expression // *Annu Rev Biochem*. 2006. V.75. P.243—69.
6. *McKenna F., McLaughlin P.J., Lewis B.J. et al.* Dopamine receptor expression on human T- and B-lymphocytes, monocytes, neutrophils, eosinophils and NK cells: a flow cytometric study // *Journal of Neuroimmunology*. 2002. V.132. P.34—40.
7. *Marques-Deak A., Gizza G., Sternberg E.* Brain-immune interactions and disease susceptibility // *Molecular Psychiatry*. 2005. V.10. P.239—250.
8. *Levite M., Chowdhury Y., Ganor Y. et al.* Dopamine interacts directly with its D3 and D2 receptors on normal human T cells, and activates beta1 integrin function // *Eur. J. Immunol*. 2001. V.31. P.3504—3512.

9. *Ilani T., Strous R.D., Fuchs S.* Dopaminergic regulation of immune cells via D3 dopamine receptor: a pathway mediated by activated T cells // *The FASEB Journal*. Aug. 19. 2004.
10. *Watanabe et al.* // *J. Immunol.* 2006. V.176. P.848—856.
11. *Besser M.J., Garnor Y., Levite M.* Dopamine by itself activates either D2, D3 or D1/D5 dopaminergic receptors in normal human T-cells and triggers the selective secretion of either IL-10, TNFalpha or both. *J Neuroimmunol.* 2005, 169 (1-2), 161-71.
12. *Cosentino M., Rasini E., Colombo C. et al.* Dopaminergic modulation of oxidative stress and apoptosis in human peripheral blood lymphocytes: evidence for a D1-like receptor-dependent protective effect // *Free Radical Biology and Med.* 2004. V.36. №10. P.1233—1240.
13. *Meredith E.J., Chamba A., Holder M.J. et al.* Close encounters of the monoamine kind: immune cells betray their nervous disposition // *Immunology.* 2005. V.115. P.289—295.
14. *Тараскина А.Е., Филимонов В.А., Козловская Ю.А. и др.* Повышенный уровень мРНК α -синуклеина в периферических лимфоцитах больных синдромом алкогольной зависимости // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2008. Т.146. №11. С.545—547.
15. *Тараскина А.Е., Бычкова Н.В., Морозова М.Н. и др.* Повышенный уровень мРНК гена DRD4 в периферических лимфоцитах у больных с синдромом алкогольной зависимости // *Сборник тезисов «Съезд генетиков и селекционеров, посвященный 200-летию со дня рождения Чарльза Дарвина и V съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров».* 2009. Ч.I. С.507.
16. *Cave J.W., Baker H.* Dopamine systems in the forebrain // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2009. V.651. P.15—35.
17. *Frederick A.L., Stanwood G.D.* Drug, biogenic amine targets and the developing brain // *Dev. Neurosci.* 2009. V.31, P.1—2, 7—22.
18. *Biermann T., Bönsch D., Reulbach U. et al.* Dopamine and N-methyl-D-aspartate receptor expression in peripheral blood of patients undergoing alcohol withdrawal // *J. Neural. Transm.* 2007. V.114. №8. P.1081—1084.
19. *Goodarzi A., Vousooghi N., Sedaghati M. et al.* Dopamine receptors in human peripheral blood lymphocytes: Changes in mRNA expression in opioid addiction // *European Journal of Pharmacology.* 2009. V.615. P.218—222.

О пагубном влиянии алкоголя на потомство было известно с древних времен. Об этом говорили еще Гиппократ и Аристотель. А в XIX в. французский психиатр Б.О.Морель, проследив судьбу четырех поколений потомственных пьяниц, отметил, что алкоголизм приводит к вырождению.

Исследования на животных показали, что алкоголь вызывает появление неполноценного потомства. Об одном из таких экспериментов и рассказывает заметка, опубликованная в «Природе» в 1916 г.



Научные новости

Алкоголизм и наследственность. Несколько лет тому назад в Англии возникло серьезное беспокойство за судьбы английского народа, главные массы которого живут в городах, в тесноте и в бедности, «вырождаются» под влиянием негигиенических условий существования, и в первую очередь алкоголизма. Комиссии специалистов-биологов было предложено решить вопрос, передаются ли по наследству эти несомненные при-

знаки вырождения в классах населения, стоящих на самой границе жизненного минимума, или же можно рассчитывать, что коренной порчи наследственности не происходит и с улучшением условий существования, с устранением алкоголизма вернется населению в полной мере здоровье. Ученая комиссия пришла к оптимистическому заключению, что верно второе из высказанных предположений; члены комиссии стояли на точке зрения

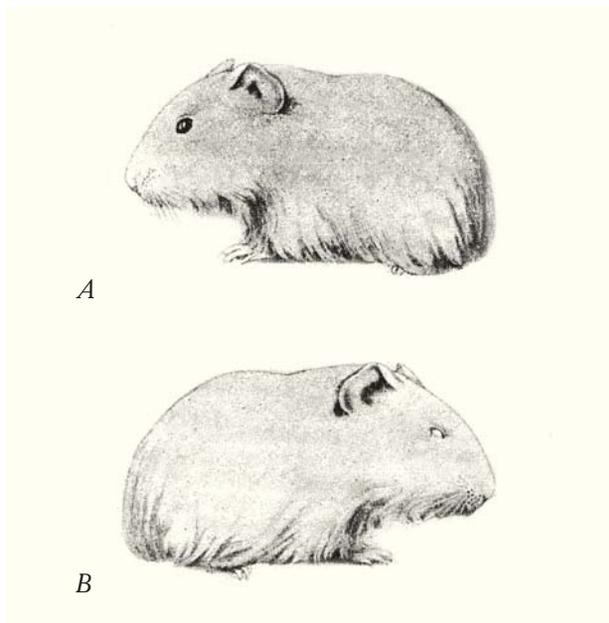


Рис.1. Морская свинка из поколения F_2 . Два деда и одна бабка — пьяницы. А — вид с левой, В — с правой стороны. Правый глаз с непрозрачной от рождения роговицей. Здоровое сильное животное двух лет совершенно бесплодно.

вейсманновского учения о непередаче по наследству приобретенных организмом в течение его жизни признаков.

На точке зрения вейсманновского учения стоят, хотя и приходят к противоположным результатам, Стоккард и Папаниколау, авторы интересного экспериментального исследования «О наследственной передаче вырождения у потомков алкоголизованных млекопитающих», напечатанного в февральской и мартовской книжках 1916 г. «The American Naturalist». Ответ, который дают описанные здесь эксперименты, рисует ясно грозное значение алкоголизма предков для потомков.

Стоккард и Папаниколау держали морских свинок в состоянии длительного опьянения, подвергая их ежедневно действию спиртовых паров. От таких пьяных морских свинок, самцов и самок, они получали потомство, которое держали уже совершенно трезвым.

От этого трезвого поколения (F_1) были получены внуки (F_2) и правнуки (F_3) первых производителей пьяниц (Р). В общем итоге от 571 спаривания было получено 682 живых детеныша и 189 выкидышей¹.

Из 123 спариваний между пьяным и трезвым производителем 44 (или 36%) оказались совершенно бесплодными, а в том случае, если и отец

¹ У морских свинок в каждом помете бывало от одного до четырех детенышей.



Рис.2. Одна из двух совершенно одинаковых свинок одного и того же помета с полным отсутствием обоих глаз и зрительных нервов; умерли через двое суток от рождения. Три прадеда были пьяницами, три прабабки — нормальны; родители — кузены.

и мать были пьяницами, процент бесплодия достиг почти 50% (20 из 41). Если происходило зачатие, большинство детенышей рождались мертвыми или выкидывались на ранней стадии и меньше половины (82 из 192) появлялись на свет живыми, хотя и нередко умирали в раннем возрасте.

В контрольных опытах у нормальных морских свинок 84% детенышей рождаются живыми, здоровыми и сильными.

Это явление вполне понятно, так как уже давно прямыми экспериментами доказано вредное влияние алкоголя на яйцевые клетки и живчиков: последние теряют подвижность, а яйца часто пропускают по несколько спермиев и развиваются с первых же стадий неправильно.

Интереснее то обстоятельство, что вредное влияние алкоголизма у родоначальников (Р) отражается и на плодовитости их потомства, хотя бы последнее и было абсолютно трезвым. Из 194 скрещиваний поколения F_1 55 (или 28%) оказались бесплодными; остальные дали 135 (или 56%) мертворожденных и только 105 (или 44%) живых детенышей. Из 119 спариваний поколения F_2 48 (или 40%) были бесплодны, остальные дали 84 (или 72%) мертвых и 32 (или 28%) живых детеныша.

Но самым любопытным результатом опытов Стоккарда и Папаниколау является обилие уродов в поколении F_2 и F_3 . Уродство отражается прежде всего на глазах и на лапах. Глаза часто

бывают с катарактом (непрозрачным хрусталиком), нередко глаз на одной стороне недоразвит или совсем отсутствует (рис.1), а у двух особей, три прадеда которых были пьяницами, оказалось полное отсутствие обоих глаз и даже зрительных нервов (рис.2). Лапы, в особенности задние, часто парализованы и дефективны. На рис.3 изображены снизу (С и Д) задние лапы мертворожденной самки из поколения F₃, все родоначальники которой были пьяницами; сверху для сравнения показаны нормальные трехпалые лапы. Изучение скелета показывает, что на левой лапе не хватает двух пальцев, а на правой, кроме одного целого пальца, развита только Metatarsale другого пальца.

Выводы из рассмотренных экспериментов следующие. Алкоголь влияет непосредственно на половые клетки и резко изменяет их генный состав. Многие половые клетки оказываются негодными для оплодотворения или же после оплодотворения вызывают уродство и гибель зародыша. Выжившие потомки, хотя бы и имели сравнительно нормальный внешний вид, обладают, однако, испорченными половыми клетками; они или остаются бесплодными, или дают уродливое потомство. Гены глаз и конечностей в особенности страдают от действия алкоголя.

Интересна связь наследственности вредных влияний алкоголизма с полом. Вообще влияние алкоголя на зачатковые клетки самцов больше, чем на зачатковые клетки самок, что сказывается прежде всего усиленной смертностью в первом случае. Среди потомства пьяных самцов наиболее страдающими оказываются самки, а в потомстве пьяных самок от трезвых самцов — самцы. Авторы для объяснения этого напоминают, что у морских свинок спермии двух родов: одни с большой дополнительной хромосомой X — на самку, и другие с малой дополнительной хромосомой Y — на самца²; а яйцевые клетки все одинаковы и все содержат дополнительные хромосомы Y. Допустим, что при алкоголизме производителя от действия спирта всего больше страдают крупные хромосомы X. В таком случае в потомстве пьяного самца больше пострадают самки, получающие ненормальные хромосомы X от отца; в потомстве же пьяной самки женские особи окажутся несколько менее пострадавшими, чем самцы, так как у

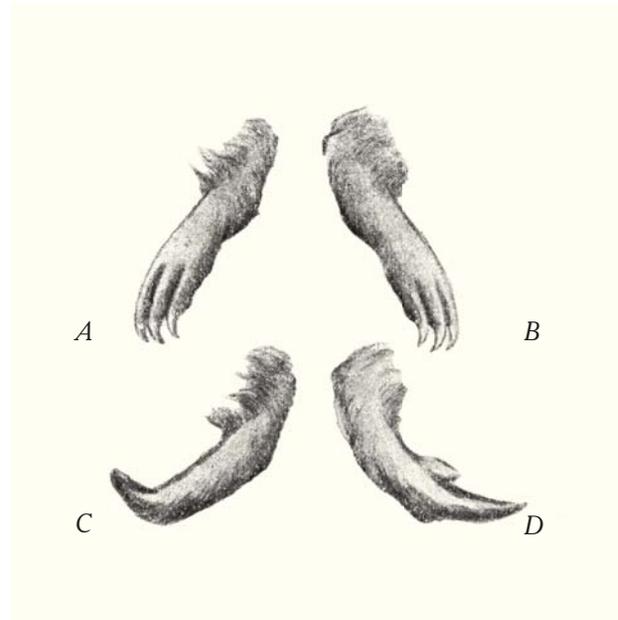


Рис.3. А и В — нормальные правая и левая задние лапы. С и D — задние лапы свинки, у которой все прадеды и прабабки с отцовской стороны, а также дед и бабка с материнской стороны были пьяницами. На левой ноге остался один палец, на правой, кроме того, зачаток второго.

них влияние ненормальной материнской хромосомы X несколько уравнивается здоровой отцовской хромосомой X, которой не получают мужские особи.

Таким образом, механизм унаследования последствий алкоголизма заключается здесь не в том, что под влиянием пьянства у производителей портятся глаза, органы движения, нервная система и проч. и эти благоприобретенные признаки в той или иной форме передаются потомству; а в том, что алкоголь влияет непосредственно на зачатковую плазму и уродует ее в той или иной, более или менее резкой, степени. В этом смысле опыты Стоккарда—Папаниколау могут быть рассматриваемы, как искусственное вызывание вспышки разнообразных мутаций. Разведение полученных авторами F₂ и F₃ продолжается, и мы ожидаем от дальнейших публикаций разъяснения вопроса, поскольку возникшие уродства закрепляются по наследству. Впрочем, крайние уроды, безглазые и беспалые, полученные до сих пор, оказываются бесплодными.

Н.Кольцов

² О дополнительных хромосомах и определении пола см. статью профессора В.М.Шимкевича в «Природе» за 1915 г. (январь и февраль).

Вулканические цунами: от Кракатау до Карымского

А.Б.Белоусов, М.Г.Белоусова

После недавних катастроф геологический термин «цунами» стал известен практически каждому. Первое в XXI в. крупномасштабное цунами 26 декабря 2004 г. разрушило густонаселенное, но технологически слабо развитое побережье северной части Индийского океана. Вторая катастрофа поразила 11 марта 2011 г. Японию — наиболее развитую страну мира и ее атомные электростанции, которые, как казалось, были надежно защищены от любого природного катаклизма.

Как и всем геологическим явлениям, цунами трудно дать однозначное строгое определение, что связано с многообразием причин его возникновения, широким диапазоном параметров самих волн, особенностями каждого конкретного случая (типом водоема, характером берега и др.). Традиционное обращение к «первоисточнику» не решает проблему. Точное значение этого японского слова — «волна в гавани» (не в заливе, как у нас часто переводят, а там, где стоят суда). Но в Японии цунами наблюдались как в гаванях, так и на открытых частях берега, и на мысах. В основном они провоцировались землетрясениями, происходили на океанском побережье и имели региональный масштаб. Однако одним из наиболее разрушительных в истории Японии (4300 погибших) стало локальное цунами



Александр Борисович Белоусов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела вулканологии Обсерватории Земли, Сингапур. Область научных интересов — вулканология.



Марина Геннадьевна Белоусова, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН (г.Петропавловск-Камчатский) и отдела вулканологии той же обсерватории. Область научных интересов — вулканология.

в мелководной закрытой бухте, вызванное крупномасштабным обвалом прибрежного вулкана Унзен в 1792 г. Извержения острова-вулкана Сакурадзима, расположенного в глубоко врезанной бухте о.Кюсю, на протяжении нескольких столетий служат регулярным источником небольших цунами.

Обращение к статистике (например, интернет-страница В.К.Гусякова*) показывает, что в XX в. на Земле в год в среднем происходило по девять цунами, а цунами с высотой заплеска

более 5 м — примерно один раз в год. Большинство аномальных волн (75%) провоцируется землетрясениями, около 10% образуется в результате крупных подводных или береговых оползней, 4% связано с извержениями вулканов, а 3% вызваны разнообразными метеорологическими явлениями. Причина возникновения для 8% случаев вообще остается неизвестной.

Пока не наблюдалось, но теоретически обосновано возникновение цунами от падения крупных метеоритов. В период «холодной войны» большие волны искусственного проис-

хождения (например, от подводных ядерных взрывов) рассматривались милитаристами обеих сторон как перспективный вид геофизического оружия. Это, кстати, способствовало щедрому финансированию изучения цунами.

Водоёмы, где наблюдаются цунами, тоже весьма разнообразны. В классическом случае это океан, но цунами наблюдались и в окраинных, и внутренних морях, в крупных озерах и даже в больших реках, например в Волге. Высота волны может быть от нескольких десятков сантиметров до нескольких сотен метров (так называемые мегацунами).

Итак, чтобы охватить многообразие цунами, можно предложить следующее определение: «Цунами — это природное явление, представляющее собой волну в естественном или искусственном водоёме, которая имеет неметеорологическое и негравитационное происхождение». Такое определение исходит из рассмотрения морские приливы, нагонные и штормовые волны, а также волны искусственные.

Еще совсем недавно информация о цунами (районах проявления, масштабах, причинах) поступала исключительно от очевидцев и потому ограничивалась историческими событиями. Несколько десятилетий назад выяснилось, что цунами оставляют на берегах водоёмов характерные отложения (в виде песков, валунов и др.), которые при благоприятных условиях сохраняются в геологической летописи. Они могут быть диагностированы и датированы (например, изотопными методами). Изучение отложений цунами позволяет и получить данные о совершенно неизвестных доисторических явлениях (палеоцунами), и существенно дополнить сведения об исторических событиях.

В данной статье пойдет речь о цунами вулканического происхождения, причем о двух его

крайних проявлениях. Если извержение Кракатау 1883 г. и вызванные им цунами относятся к числу наиболее сильных и разрушительных в истории, то события 1996 г. в Карымском озере имели намного меньший масштаб и не привели к человеческим жертвам. Однако именно возможность такого сравнения позволяет многое понять в процессах возникновения вулканических цунами. Идея такого сравнительного изучения легла в основу международного проекта с образным названием «Огненные волны» («Fire Waves»). Основной целью проекта был поиск специфики отложений и воздействия вулканических цунами.

Кракатау

Название «Кракатау» в сознании людей ассоциируется с понятием вулканической катастрофы огромного масштаба. Сто двадцать восемь лет назад (в конце августа 1883 г.) мир был потрясен известием о внезапной гибели 36 тыс. человек на берегах пролива между островами Ява и Суматра в результате извержения на небольшом вулканическом острове Кракатау [1]. Хотя само извержение было достаточно сильным (6,5 баллов по 8-балльной шкале интенсивности извержений — VEI-Volcanic Explosivity Index), от воздействия собственно извержения (ожогов от облаков горячего пепла) погибло только около 1000 человек, находившихся в ближайших к вулкану населенных пунктах. Большинство же стало жертвами цунами, которое буквально принесло энергию извержения к многочисленным прибрежным поселкам, удаленным на десятки—сотни километров от вулкана. Высота заплеска достигала 40 м, а удар был такой силы, что снес многие морские навигационные маяки, построенные вдоль берегов пролива. Их кирпичные, рассчитанные на века стены толщиной более 2 м, разбились на куски и были заброшены в гущу суши

на расстояние до нескольких километров (рис.1). От бамбуковых хижин аборигенов вообще не осталось никаких следов.

Предмет нашего исследования, отложения цунами, — разнообразный материал (включая обломки маяков), который был подхвачен волной в прибрежной зоне и отложен на суше среди рисовых полей и кокосовых плантаций. Когда мы уезжали в экспедицию, многие наши коллеги не верили в успех. Аргумент был простой: «Прошло столько времени, район с высочайшей плотностью населения, все много раз перекопано, уверены: вы ничего не найдете!» Действительно, той Явы, с непроходимыми джунглями и носорогами, описанной в школьных учебниках географии, давно не существует. Заповедник Уджунг-Кулон — все, что осталось от бывшего буйства природы. Малейший кусочек земли здесь тщательно возделан, везде кто-то живет, торгует, пасет скот или сваливает мусор (обычно все это происходит одновременно). На рисовых террасах преобразование рельефа человеком сравнимо вообще с геологическим процессом. Тем не менее оказалось, что следы такого мощного цунами невозможно стереть полностью.

Первое, что мы обнаружили, — это очень глубокую эрозию поверхности небольших прибрежных островков, через которые перехлестнуло цунами. Слой почвы толщиной несколько метров вместе с растущим вековым тропическим лесом был полностью смыт, и на обширных площадях обнажилось прочное скальное основание (рис.2).

Даже по прошествии стольких лет здесь почти ничего не выросло. Размыв берега обычен при цунами, однако в случае Кракатау эрозия проявилась особенно сильно. Дело в том, что извержение вызвало многочисленные цунами. Если невулканическое цунами, как правило, обрушивается на берег в виде нескольких отдельных волн с интервалом от



Рис.1. Массивное кирпичное основание башни маяка Аньер на берегу о-ва Ява, разрушенного цунами в 1883 г. (в 50 км от Кракатау). На заднем плане металлический маяк, построенный в 1885 г.

Здесь и далее фото А.Б.Белоусова

нескольких минут до нескольких десятков минут, то колебания уровня моря в Зондском проливе, вызванные извержением Кракатау, наблюдались почти непрерывно в течение 25 ч! Причем наиболее разрушительные волны высотой 35–40 м отмечены в 19.30 (26 августа), 1.30, 5.30, 6.40, 8.20 и 10.02 (27 августа).

Особенно впечатляющим и сразу бросающимся в глаза свидетельством мощи цунами 1883 г. служат гигантские блоки коралловых рифов, лежащие в приливно-отливной зоне и занесенные в глубь суши на расстояние до нескольких километров. В литературе, посвященной извержению Кракатау, описан

только самый большой блок размером 10x12x5 м (рис.3), но оказалось, что цунами разбросало их великое множество вдоль всего западного побережья Явы. На некоторых уже успел сформироваться слой почвы и растут небольшие деревья.

Несмотря на то что местные жители используют эти блоки для строительства, многие сохранившиеся глыбы все еще возвышаются над зеленым бархатом рисовых полей, как памятники погибшим здесь крестьянам.

По мере того как в поисках отложений 1883 г. мы копали небольшие шурфы и вручную бурили многочисленные скважины вдоль берега, обнаружилось, что почти везде в низменных местах цунами оставило слой толщиной до 40 см плохо сортированного кораллового гравия (рис.4).

Отложения цунами Кракатау оказались намного грубее наиболее часто встречающихся отложений невулканических цунами. Последние даже на коралловых островах представлены, как правило, песком, в котором крупные фрагменты кораллов встречаются нечасто. Очевидно, как и в случае с эрозией берега, это результат многократности цунами от извержения Кракатау. Огромные, следующие одна за другой волны постепенно разбили, расшатали и размолотили прибрежные коралловые рифы, а самое мощное цунами (27 августа, около 10 утра) подняло и выплеснуло эту коралловую кашу на низменные берега западной Явы.

Интересно, что в отложениях цунами нам удалось найти лишь один крупный окатанный кусок пемзы извержения 1883 г. В открытой воде цунами не переносят какой-либо материал. Только у берега, где волна начинает взаимодействовать с дном, она тормозится, обрушивается и превращается в поток воды, подхватывающий и несущий отложения прибрежной зоны. Найденная пемза была выброшена

на начальной стадии извержения Кракатау, за три месяца до пароксизма, вызвавшего цунами, и длительное время дрейфовала по морю. Она случайно оказалась занесенной в прибрежную зону морскими течениями и ветром, а затем была выброшена цунами на берег вместе с другим, невулканическим материалом.

Хотя цунами от извержения Кракатау — признанный эталон цунами вулканического происхождения, механизм их возникновения полностью не ясен и служит предметом длительной дискуссии. Дело в том, что извержение Кракатау (как и вообще любое крупное извержение) имело комплексный характер. Оно включало несколько различных процессов, которые могли вызвать цунами. Важнейшим из них стало извержение в течение 16 ч 18—20 км³ пирокластического материала, который был отложен преимущественно в море. Суммарная толщина отложений в непосредственной близости от вулкана превышает 30 м (рис.5).

Массовое отложение пирокластического материала в виде растекающихся от центра извержения многочисленных потоков, — одна из наиболее вероятных причин образования цунами. Вторая причина возникновения цунами связана с тем, что в ходе извержения образовалась подводная кальдера — впадина диаметром 5 км и глубиной до 400 м, в которую просела большая часть о.Кракатау. Заполнение морем этой кальдеры должно было сопровождаться образованием гигантских волн, а втекающая вода контактировала с раскаленными породами, что вызывало мощные подводные взрывы — еще один вероятный источник цунами. Таким образом очевидно, что цунами на Кракатау возникали в результате нескольких процессов, а относительный вклад каждого из них был различным на разных этапах извержения.



Рис.2. Скальные породы выступают там, где цунами 1883 г. смыло слой почвы с маленького островка. На заднем плане, за узким проливом, виден городок Мерак (в 65 км от Кракатау), где высота заплеска волны достигла 40 м.



Рис.3. На самом большом блоке кораллового рифа, выброшенного на берег цунами у г.Аньер, уже выросли деревья (вверху). Блоки коралла, разбросанные цунами среди рисовых чек в 50 км от Кракатау (внизу).



Рис.4. В этот нетуристический район Явы европейцы заезжают очень редко, а если они еще и начинают копать землю, то в зрителях и помощниках недостатка нет (слева). Во многих местах западного побережья Явы под тонким слоем почвы лежит слой кораллового гравия, выброшенного на берег цунами 1883 г.

Отдельный вопрос: почему самое сильное цунами образовалось последним, в самом конце извержения? Скорее всего, оно было вызвано крупномасштабным обвалом стратовулкана Раката, составлявшего южную оконечность о.Кракатау. На завершающей стадии извержения край формирующейся кальдеры пересек остров в месте, где располагался крутосклонный конус Раката высотой 800 м. Это привело к потере конусом гравитационной устойчивости, и половина постройки Ракаты соскользнула в заполнявшуюся морем кальдере, вызвав самое



Рис.5. Остров Панджанг, край кальдеры Кракатау. Толщина отложений пирокластических потоков извержения 1883 г. здесь достигает нескольких десятков метров.



Рис.6. Остров Раката — все, что осталось от о.Кракатау после извержения 1883 г. Фото сделано с о.Анак-Кракатау, который сформировался в результате серии посткальдерных извержений, начавшихся в 1927 г.

мощное цунами данного извержения (рис.6).

Проведенное нами физическое моделирование процесса проседания кальдеры (рис.7) показало, что, если кольцевой кальдерный разлом пересекает эксцентрично расположенный вулканический конус, происходит крупномасштабное обрушение конуса внутрь кальдеры. При этом обвалившийся конус приобретает характерную, легко

узнаваемую подковообразную форму [2].

Анализ космических снимков показал, что такие подковообразные постройки, расположенные у краев крупных кальдер, широко распространены во многих вулканических районах, в частности на Камчатке. Следовательно, обвалы, аналогичные обвалу Ракаты, — достаточно обычное явление в процессе кальдерообразующих изверже-

ний. При формировании подводных кальдер они, очевидно, служат источником наиболее разрушительных цунами.

После извержения 1883 г. Кракатау на 44 года погрузился в спячку. В 1927 г. в его кальдере возобновилась вулканическая деятельность — началось длительное подводное извержение базальтовой магмы (рис.8). Подводные взрывы умеренной силы вызывали небольшие цунами на

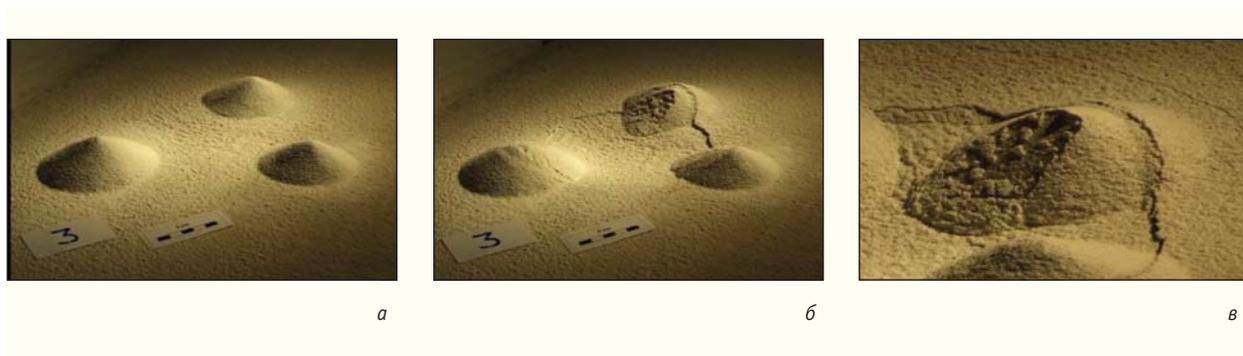


Рис.7. Воспроизведение процесса образования кальдеры на модели из песка: а — до образования кальдеры; б — после; в — увеличенное изображение обвалившегося конуса.



Рис.8. Остров-вулкан Анак Кракатау. На заднем плане — о.Сертунг. На архипелаге Кракатау, который входит в состав заповедника Уджунг Кулон, нет поселений и не проложено массовых туристических маршрутов. Попастъ в это красивейшее место можно только арендовав лодку. Название Анак Кракатау (Сын Кракатау) было предложено Владимиром Петрушевским — офицером русской армии, который после победы красных на Дальнем Востоке эмигрировал на Яву и много лет работал в Вулканологической службе Ост Индии. Фото сделано с о.Панджанг.

островках, окружающих кальдере. Островки были необитаемые, и это явление не привлекло большого внимания и не было детально изучено.

Карымское озеро

Уникальная возможность изучить воздействие цунами от относительно небольших взрывов представилась на Камчатке в 1996 г., когда в оз.Карымском произошло подводное взрывное извержение базальтовой магмы.

Примерно в 40 минутах лёта на север от г. Петропавловска-Камчатского, среди невысоких вулканических гор, поросших



Рис.9. Карымское озеро расположено в кальдерной впадине вулкана Академии Наук. Вдали видны Тихий океан и мыс Шипунский.

ольховым стланником, сначала появляется небольшой правильный конус вулкана Карымский, а потом несколько правее него вдруг открывается большое, почти идеально круглое озеро с водой восхитительного небесно-голубого цвета (рис.9). Это — оз.Карымское диаметром 3.5 км и максимальной глубиной 65 м. Оно занимает почти всю чашу кальдеры Академии Наук (рис.9).

2 января 1996 г. на дне озера, у его северного берега, произошло короткое (менее суток), но достаточно мощное подводное эксплозивное извержение [3]. Институту вулканологии удалось организовать облет на вертолете, когда извержение было в самом разгаре. Подводные взрывы выбрасывали фонтаны черной смеси воды и пирокластики на высоту до 1 км. Этот материал был тяжелее воздуха и потому не всплывал в атмосфере как обычное вулканическое облако, а обрушивался обратно в озеро, радиально растекаясь от центра извержения и формируя так называемую базисную пирокластическую волну (рис.10). Одновременно образовывались многочисленные цунами, распространявшиеся по всей поверхности озера.



Рис.10. Один из примерно 200 взрывов подводного извержения 2 января 1996 г. в Карымском озере. Выброшенная смесь воды и пирокластики обрушилась обратно в озеро и растеклась радиально от центра извержения в виде базисной пирокластической волны.

Фото Я.Д.Муравьева



Рис.11. Отложения песка, блоки, вырванные при эрозии берега, и погибший кустарник отмечают область воздействия цунами 1996 г. в Карымском озере (слева); кустарник смытый и выброшенный цунами на южный берег озера (справа).

Фото А.Б.Белюсова

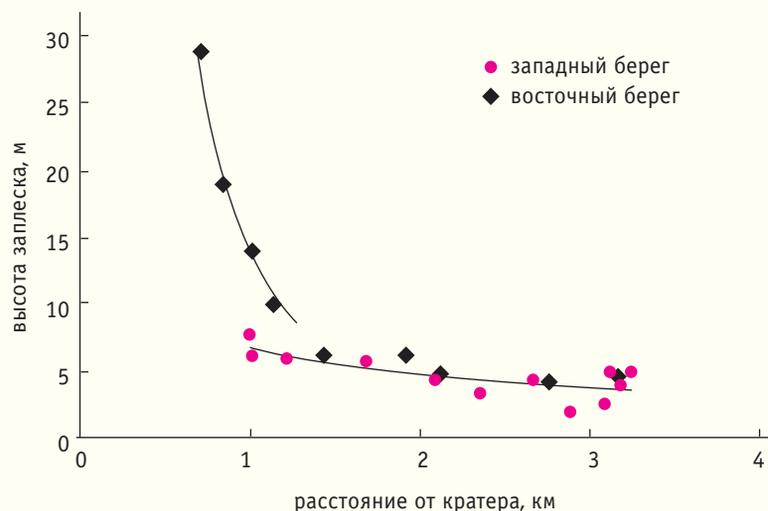


Рис.12. График затухания волн цунами в Карымском озере с расстоянием от центра извержения 1996 г. [5].

Извержение вызвало настоящую локальную экологическую катастрофу. Вода в озере стала кислой и прогрелась до 25°C, что привело к гибели всего живого. Выброшенный взрывами пирокластический материал сформировал полузатопленный конус (туфовое кольцо) с кратером диаметром 600 м и глубиной 50 м.

Мы изучали последствия цунами сразу после извержения, когда высота заплеска волн четко прослеживалась по полосе погибшей растительности. Дополнительные исследования со-

вместно с французскими коллегами были проведены после работ на Кракатау. Полученные данные свидетельствовали, что вблизи подводного кратера высота заплесков волны на берег достигала 30 м. Цунами от подводных взрывов, так же, как и при извержении Кракатау, сильно эродировали берега озера, а вырванные блоки пород забрасывались далеко в глубь суши (рис.11).

Выполненные замеры высоты заплеска позволили впервые построить график затухания волн с увеличением расстояния

от центра извержения (рис.12). Оказалось, что сначала происходит очень быстрое уменьшение высоты заплеска с 30 до 5–7 м, а на расстоянии около 1,5 км от кратера скорость затухания становится меньше и в дальнейшем конце озера высота заплеска уменьшается до 2–3 м [4]. Выполненное впоследствии численное моделирование этого цунами показало хорошее соответствие с данными натурных измерений [5].

Проект «Огненные волны» впервые позволил собрать систематические данные об отложениях цунами вулканического происхождения. Сравнение различных по масштабам проявления событий на Кракатау и Карымском дало возможность выявить ряд черт, характерных для воздействия цунами, вызванных подводными взрывными извержениями, а также определить скорость затухания волн с увеличением расстояния от источника. Установленные закономерности имеют важное прикладное значение. Они впервые позволяют оценивать опасность от волн, образующихся при подводных извержениях в мелководных бассейнах — озерах и морских заливах, берега которых во многих районах мира отличаются чрезвычайно высокой плотностью населения. ■

Литература

1. Self S. Krakatau revisited: the course of events and interpretation of the 1883 eruption // *Geojournal*. 1992. V.28. P.109–121.
2. Belousov A.B., Walter T.R., Troll V. Large-scale failures on domes and stratovolcanoes situated on caldera ring faults: sand box modeling and natural examples from Kamchatka, Russia // *Bulletin of Volcanology*. 2005. V.67. P.457–468.
3. Belousov A., Belousova M. Eruptive process, effects and deposits of the 1996 and ancient basaltic phreatomagmatic eruptions in Karymskoye lake, Kamchatka, Russia // *Lacustrine Volcanoclastic Sedimentation* / Eds J.D.White, N.R.Riggs. 2001. IAS Special Volume. V.30. P.235–260.
4. Belousov A., Voight B., Belousova M., Murat'yev Ya. Tsunamis generated subaquatic volcanic explosions: unique data from 1996 eruption in Karymskoye lake, Kamchatka, Russia // *Pure and Applied Geophysics*. 2000. V.157. P.1135–1143.
5. Torsvik T., Paris R., Didenkulova I. et al. Numerical simulation of a tsunami event during the 1996 eruption in Karymskoye lake, Kamchatka, Russia // *Natural Hazards and Earth System Science* 2010. V.10. P.2359–2369.



Заколдованная птица: история большеклювой камышевки

Люди, знающие камышевок, столь же редки, как и люди, никогда их не слышавшие.

Э.Шукуров.

П.В.Квартальнов, В.В.Иваницкий, И.М.Марова, В.В.Самоцкая

Наша группа занимается изучением экологии и поведения воробьиных птиц, в основном семейства славковых — камышевок и пеночек, для которых характерно высокое видовое разнообразие и широкое распространение. Эти птицы служат удобной модельной группой для фундаментальных исследований: от изучения эволюции социального поведения, акустического репертуара, биологии размножения до проблем сосуществования близких видов в рамках многовидового сообщества. Используя богатую коллекцию Фонотеки голосов животных им.Б.Н.Вепринцева, мы исследуем эволюцию пения птиц, выясняем экологические, этологические и генетические причины возникновения вокальных диалектов.

В последние годы мы изучали гнездовую биологию и социальное поведение садовой камышевки (*Acrocephalus dumetorum*), ее взаимоотношения с другими видами. Наблюдения проводили в основном в Костромской обл., на берегах р.Унжи. Садовая камышевка селится в заброшенных садах, по лесным опушкам, в ивняках и зарослях шиповника, по пойменным лугам. В насиживании кладки и выкармливании выводка участвуют оба партнера. Если кто-то из них долго отсутствует, кладке или птенцам грозит гибель от переохлаждения. Самка не может в одиночку насиживать вторую кладку, пока самец кормит



Павел Валерьевич Квартальнов, кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры зоологии позвоночных животных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается изучением структуры сообществ, социального поведения и межвидовых отношений птиц.



Владимир Викторович Иваницкий, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник той же кафедры. Известный специалист в области экологии и этологии животных, биоакустики, теории сообществ.



Ирина Михайловна Марова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Область научных интересов — теория эволюции, изолирующие механизмы, гибридизация, биоакустика.

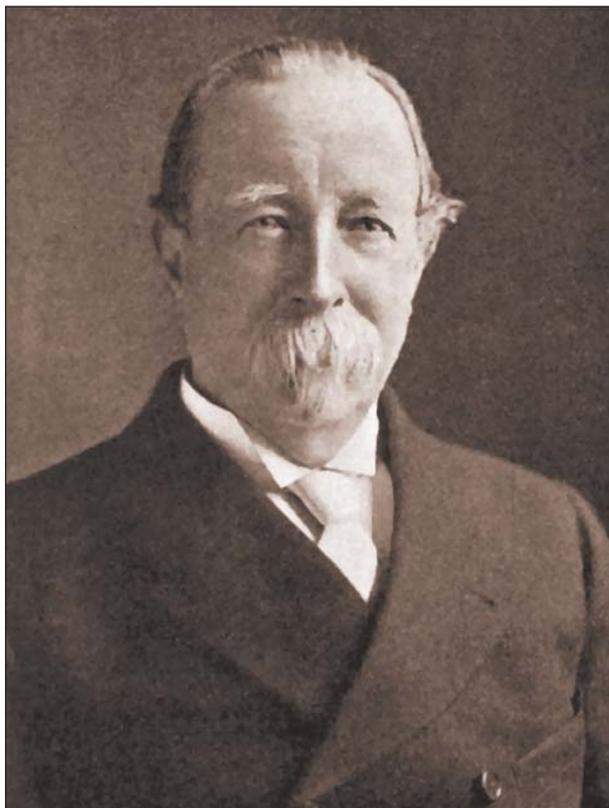


Вероника Владимировна Самоцкая, студентка биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Тема дипломной работы: «Морфологические, генетические и биоакустические особенности садовой камышевки в разных частях ареала и на разных стадиях годового цикла».

© Квартальнов П.В., Иваницкий В.В., Марова И.М., Самоцкая В.В., 2011



Садовая камышевка (Костромская обл.).



Аллан Октавиан Юм (1829—1912).

выводок, поэтому к повторному размножению садовые камышевки приступают лишь в случае гибели гнезда. Партнеры не соблюдают верность друг другу. Самцы то и дело посещают самок, уже нашедших себе пару, а те благосклонно принимают чужаков. Когда птицы на соседних участках уже приступили к насиживанию, некоторые самцы возобновляют пение на удалении от гнезда — в надежде, что какая-нибудь самка сама прилетит к ним. Порою таким самцам удавалось обольстить «незамужних» самок, но пары быстро распались: самцы покидали новых подруг, чтобы нести вахту по насиживанию кладки в своем гнезде. У других видов самцы могут отлынивать от насиживания, и те из них, кто вновь запел на новом участке, нередко становятся многоженцами.

Социальная жизнь садовой камышевки интересна сама по себе, однако в этой статье мы хотим рассказать о проведенных нами в 2010 г. в Таджикистане поисках этой птицы. Дело в том, что ее статус в Средней Азии до конца неясен. В этом регионе известны несколько находок гнезд садовой камышевки, но анализ сведений о них не позволяет исключить, что за гнезда садовых камышевок были приняты постройки других птиц — индийской камышевки (*A. agricola*) и южной бормотушки (*Iduna rama*). Сообщения о гнездовании садовой камышевки на севере Индии также ошибочны. Однако если бы гнездование садовой камышевки в Средней Азии, где птиц неоднократно встречали летом, подтвердилось, крайне интересно было посмотреть, чем отличается ее экология и поведение на севере и на юге ареала. Интригу вносили известия о находках в Средней Азии другого вида, о котором нужно рассказать подробнее.

История описания

Ученые познакомились с большеклювой камышевкой 11 ноября 1867 г. Британский натуралист, патриарх индийской орнитологии А.О.Юм добыл ее в долине Сатлех на севере Индии. От прочих «маленьких серых птичек» она отличалась необычно крупным клювом. В 1871 г. Юм назвал ее *Acrocephalus macrorhynchus*. Это имя продержалось недолго: в 1905 г. Г.Ч.Оберхольсер заменил его новым — *Aorinus*.

Большеклювая камышевка найдена и описана в то легендарное время, когда боевые офицеры становились натуралистами, а натуралисты — военными разведчиками. Неудивительно, что новое сообщение о встрече с ней поступило из действующей армии. Хирург Дж.Скалли во время похода по Гималаям в 1874 г. встретил птичек, беспокойно перелетавших в зарослях высокотравья. Он сообщил о находке большеклювой камышевки, но позже добытая птица была переопределена: оказалось, что она принадлежит другому виду славковых — гималайской пестрогрудке (*Bradypterus*



Большеклювые камышевки (Зоомузей МГУ, сборы Б.Н.Гурова).

major). Не повезло и капитану Эллертону, посетившему долину Сатлеж в 1902 г.: за гнездо большеклювой камышевки он принял постройку более обычной туркестанской камышевки (*A.stentoreus*).

Более 100 лет никто не сообщал о встречах с большеклювой камышевкой. Единственный известный экземпляр неоднократно осматривали ведущие систематики. Оперение птицы не полностью отросло после линьки, что затрудняло сравнение с тушками других видов. Ч.Вори считал большеклювую камышевку близкой к группе индийских камышевок (*A.agricola* и др.). К.Вильямсон признавал ее подвидом туркестанской камышевки.

Изрядно потрепанная тушка упорно хранила свою тайну до начала XXI в., пока систематикам не стали доступны методы молекулярной диагностики. Изучение структуры ДНК позволяет проводить сравнения между музейными экземплярами и образцами тканей птиц, отловленных в природе. Д.Дж.Пирсон и С.Бенш изначально сочли, что в их руках оказалась тушка садовой камышевки либо птицей гибридного происхождения, а не большеклювой камышевкой. Однако после молекулярных исследований, проведенных этими же учеными, все предположения пришлось отвергнуть. Генеалогически птица действительно оказалась близка садовой камышевке, но, скорее всего, заслуживала выделения в отдельный вид. Результаты, опубликованные в 2002 г., послужили стимулом для новых поисков.

Неожиданные находки

Сенсационное известие вскоре поступило из Таиланда: 27 марта 2006 г. на полях фильтрации близ Бангкока Ф.Д.Раунд поймал птицу, полностью отвечающую описанию большеклювой камышевки. Раунд окольцевал и выпустил ее, однако оставил себе два пера, которые затем отослал в Англию.

Результаты генетического анализа не только подтвердили правильность определения, но и выявили у пойманной птицы высокую степень гетерозиготности: наследственный материал, полученный ею от отца и матери, различался настолько, что можно было утверждать — те не были близкими родственниками. Значит, где-то еще существовала жизнеспособная популяция этого вида.

Военных орнитологов в нашем веке заменили «бердвотчеры» — натуралисты-любители, выискивающие новые для себя виды птиц в пригородных парках, на затерянных островах и в душных тропических лесах. Следующее сообщение появилось 1 апреля 2007 г. на одном из форумов в Интернете. Большеклювую камышевку удалось сфотографировать, когда та кормилась в зарослях бамбука близ Калькутты в Индии. Через год этих камышевок встретили в центральной Индии, а одну птицу поймали на севере Таиланда. Вернулась и птица, окольцованная Раундом: она снова угодила в сети 21 марта 2008 г.

Целенаправленные поиски позволили другим орнитологам обнаружить в музеях разных стран, в том числе и в России, более трех десятков большеклювых камышевок. Оказалось, что птиц неоднократно добывали в Центральной и Юго-Восточной Азии, принимая за садовых камышевок. Первый из выявленных экземпляров большеклювой камышевки, прошедший через руки российских ученых, пойман в августе 1900 г. близ Жаркента (Казахстан). Неизвестно, от кого он поступил к выдающемуся орнитологу Н.А.Зарудному. Возможно, птицу добыл поручик артиллерии Б.П.Кореев. На основе его сборов ученый написал работу о птицах Семиречья. Русские офицеры в деле изучения природы немногим уступали британцам.

По иронии судьбы один из известных ныне экземпляров большеклювой камышевки добыл в августе 1879 г. майор Дж.Биддалф, проходивший службу на севере Пакистана, в провинции Гилгит, именно в то время, когда там находился и Скалли, чьи ранние сообщения о встречах с птицей оказались ошибочными. Офицеры стали близкими друзьями. Скалли, как и Биддалф, сообщил о встречах «садовых камышевок», пролетавших через Гилгит во второй половине августа. Он, несомненно, видел большеклювых камышевок, но не смог распознать их.

Находки позволили предположить, что места гнездования вида находятся где-то между север-

ными районами Пакистана и Афганистана и юго-западными районами Казахстана. На этом пространстве находятся горы Гиндукуша, Памира, Памиро-Алая, Тянь-Шаня и Куньлуня. Осенью птицы откочевывают на юг, затем на юго-восток вдоль предгорий Гималаев. По пути они останавливаются на линьку, потом продолжают путь по направлению к Бирме (где 25 января 1879 г. добыт единственный зимний экземпляр). Некоторые птицы, вероятно, летят дальше — в сторону Индокитая, откуда и возвращаются весной через Таиланд, затем через восточную и центральную Индию.

Новые известия

В июне 2008 г. зоолог Р.Дж.Тимминс наблюдал птиц в Ваханском коридоре на северо-востоке Афганистана, где по соглашению 1905 г. пролегла граница между зонами влияния Российской и Британской империй. В прибрежных кустах — там, где сливаются реки Вахан и Памир, — Тимминс обнаружил каких-то камышевок. Он записал их пение и ознакомил с ним Л.Свенссона, в то время искавшего в музеях тушки большеклювой камышевки. Тот предположил, что пение могло принадлежать птицам этого вида.

В начале июня 2009 г. несколько афганских орнитологов отправились в Ваханский коридор. Используя запись, предоставленную Тимминсом, они поймали 15 птиц в зарослях тамариска, облепихи и других кустарников. Все они оказались большеклювыми камышевками. Кроме того, в центральном Бадахшане удалось отловить еще четырех камышевок. Повторные попытки поймать этих птиц в конце июня успехом не увенчались, однако натуралисты встретили камышевку, державшую в клюве корм (очевидно, предназначавшийся птенцам).

В июле 2009 г. поиски большеклювых камышевок проводили и с таджикской стороны. Р.Айе с коллегами местом поисков избрали Горный Бадахшан. Ученые поймали восемь птиц. Две из них встречены повторно: они носили корм слеткам, недавно покинувшему гнездо. Те едва могли перелететь от одного куста до другого. Орнитологи видели и других большеклювых камышевок: они пели в кустарниках по берегам горных рек. Гнездование редкого вида в Бадахшане было доказано. Точность определения таджикских и афганских птиц подтвердил анализ ДНК.

Результаты, полученные Айе, позволили пересмотреть данные, собранные русскими и советскими орнитологами. В 1915 г. по Бадахшану путешествовал натуралист В.Я.Лаздин. В его сборах оказались семь молодых «садовых» камышевок, добытых в конце июля и в августе. Одни находились в гнездовом пере, другие сменили наряд на первоосенний. Экспедиция следующего года ока-

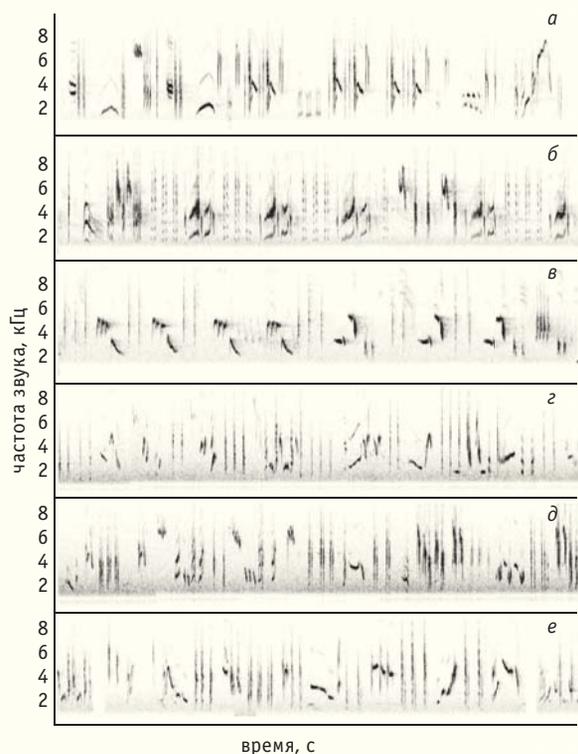
залась для Лаздина последней: его вместе с орнитологом Н.В.Просвириным с целью грабежа убили проводники-киргизы.

В середине XX в. горы Бадахшана начал исследовать А.В.Попов. В верховьях Ванча и Шахдары он встречал выводки «садовой» камышевки в последней декаде июля. Слетки держались в густых ивняках. Молодая птица добыта в конце июля на южном склоне Дарвазского хребта.

Предположение, что данные, собранные Лаздиным и Поповым, относятся к большеклювой камышевке, еще нуждается в проверке. Однако нам удалось разыскать рукопись В.В.Кашинина, который во время студенческой практики в середине июня 1976 г. в Бадахшане наблюдал, как большеклювые камышевки (принятые за садовых) строили гнезда в тугаях на реке Гунт. В то время и в том месте Б.Н.Гуров собрал птиц этого вида, которые ныне хранятся в Зоомузее МГУ (определены Е.А.Кобликом и Я.А.Редькиным).

Странные птицы

Местом наших работ мы выбрали южные отроги Гиссарского хребта, а именно ущелье Кондара, где с 1932 г. находится Варзобская ботаническая



Фрагменты пения садовой камышевки, записанного в Подмосковье (а—в) и в Средней Азии (г—е).

станция. Сотрудники Зоологического института, эвакуированные из блокадного Ленинграда в Сталинабад (Душанбе), неоднократно посещали Кондару, а по окончании войны опубликовали результаты исследований в виде монографии, куда вошли и наблюдения орнитологов — А.И.Иванова, А.Я.Тугаринова и Е.В.Козловой. О садовой камышевке упоминается как о птице нередкой на кочевках и на пролете, одинаково обычной от устья ущелья до арчевников, произрастающих у его вершины, под отвесными скалами плато Руидашт.

Отправляясь в Таджикистан, мы вооружились аппаратурой для записи птичьих голосов. Дело в том, что в 2008 г., в процессе подготовки статьи по географической изменчивости пения садовой камышевки, мы обнаружили в фонотеке несколько записей, сделанных весной в Туркмении, Таджикистане и на юго-западе Казахстана. Типичное («северное») пение садовой камышевки — размеренное, с имитациями голосов других птиц. Пение садовой камышевки, записанное в Средней Азии («южное»), отличалось от привычного учащенным ритмом исполнения, менее строгой ритмичной организацией и неустойчивой фонетической структурой. Видимо, его описывал в 1909 г. майор Г.А.Ф.Маграт, изучавший птиц Пакистана: «Пение, хотя отчасти и приятное, изрядно засорено шкворчащими и шипящими звуками, столь свойственными камышевкам». Вопрос о причинах значительных различий между пением северных и южных садовых камышевок оставался открытым. Нельзя было исключить, что птицы с необычной песней могли оказаться большеклювыми камышевками или садовыми камышевками из местной популяции.

Мы прибыли в Душанбе рано утром 24 мая 2010 г. В бурьяне у забора Института зоологии и паразитологии на окраине города пели камышевки. Час спустя из поставленной в том месте паутиной сети мы уже нетерпеливо выпутывали первую добычу. Пение, которое мы тут же записали, полностью соответствовало пению южных садовых камышевок, описанному в нашей статье. Такое же пение исполняли камышевки в центре города.

Через несколько дней мы приехали в Кондару. Поначалу пытались определить, где обитают камышевки, в каких местах удобнее их наблюдать и ловить, чтобы иметь данные о меченой популяции. Оказалось, что птицы держатся в основном по зарослям плодовых деревьев. На склоне северной экспозиции они встречались в богарном саду — в посадках яблонь, груш и винограда по узким террасам. Склон, обращенный к югу, камышевки заселяли более равномерно, однако с наибольшей плотностью держались в посадках алычи и боярышника. Если северный склон был лесистым, то южный местами выглядел голым: помимо еще по-весеннему зеленевшего дикого овса и других злаков, на нем торчали лишь кустики миндаля, начисто объеденные гусеницами.



Садовая камышевка в кустах миндаля (ущелье Кондара).

Наши наблюдения позволили разобраться в характере пребывания камышевок в центральном Таджикистане. Птицы кормятся в зарослях любой древесно-кустарниковой растительности, избегают сомкнутого леса. Многие камышевки занимают участки, включающие кроны нескольких соседних деревьев или пятно густых кустарников. Птицы обозначают их пением, ревностно охраняют, но не задерживаются там более трех суток. Нетерриториальных птиц, по-видимому, большинство. Они любопытны, постоянно норовят проникнуть на участок поющего самца и наравне с возбужденными хозяевами территорий попадают в паутинную сеть, близ которой из динамика доносится «южное» пение садовой камышевки.

Мы надеялись, что камышевки загнездятся в Кондаре, однако с конца первой декады июня их число начало резко уменьшаться, а во второй половине месяца мы лишь три раза отмечали отдельных птиц. В конце июня и начале июля мы обследовали долину Зеравшана, но ни садовых, ни большеклювых камышевок не нашли. За все время мы не поймали и не встретили ни одной самки. Самцы образовывали временные «пары» — ассоциации из двух птиц, длительное время перемещавшихся и кормившихся вместе. То одна, то другая птица начинала ухаживание, но оно, конечно, не приводило к успеху.

Сразу определить видовую принадлежность птиц, пойманных в Душанбе и Кондаре, не удалось: известные морфологические критерии, по которым можно отличить садовую и большеклювую камышевок, ненадежны. Мы взяли пробы крови для анализа ДНК, но, рассчитывая определить камышевок на месте, провели эксперименты с демонстрацией птицам записей пения северных и южных садовых камышевок.

Эксперименты дали неожиданные результаты. Самцы, услышав запись, никогда не отвечали на нее пением (в отличие от садовых камышевок средней полосы). Они приближались вплотную к динамике или начинали беспокойно кричать. На записи «северного» пения садовой камышевки они никак не реагировали. Все это указывало на то, что встреченные нами птицы относились не к садовым камышевкам, а к птицам другого вида. Из камышевок, похожих на садовую, в Средней Азии обитает только одна — большеклювая.

И снова тайны

Казалось, истина установлена: большеклювая камышевка — обычный пролетный вид центрального Таджикистана. Однако тщательная обработка полученных данных заставила усомниться в первоначальных выводах. Мы сравнили фотографии и промеры отловленных нами птиц с тушками большеклювой и садовой камышевок, хранящимися в Зоомузее МГУ. Кроме того, провели анализ митохондриальной ДНК из образцов крови таджикских камышевок. Результаты оказались однозначными: встреченные нами в Душанбе и Кондаре птицы были садовыми камышевками, а не большеклювыми. Приемлемое объяснение необычного поведения: птицы, возвращаясь к местам гнездования с индийских зимовок, останавливаются в Средней Азии, чтобы набрать сил для дальнейшего перелета. Их пение, по-видимому, не стоит относить к неформальной вокализации молодых или неготовых к размножению птиц. Скорее всего, это особая песня, которую исполняют камышевки, разграничивающие кормовые участки. В экспериментах доказано, что эти птицы на пролете прекрасно различают два типа пения. Пока неясно, почему, проявляя высокую социальную активность, садовые камышевки не только не исполняют типичную песню, но и не отвечают на нее. Поведение пролетных садовых камышевок требует дальнейшего изучения. Эта птица — обычный вид Подмосковья — оказалась на поверку не менее загадочной, чем ускользающая от ученых камышевка, описанная Юмом.

Дальнейшие исследования большеклювой камышевки позволят прежде всего обеспечить ее

благополучие. Она еще, по-видимому, не очень редка на местах гнездования, но дальнейшая судьба вида внушает тревогу. В Бадахшане по обе стороны границы местные жители вырубают тугаи на топливо. Если большеклювые камышевки встречаются на небольшой площади, дальнейшее уничтожение тугаев может привести к ее скорому вымиранию.

Большеклювая камышевка ценна и для решения нескольких фундаментальных проблем. Например, для изучения механизмов, отвечающих за формирование и поддержание высокого генетического разнообразия, которые обнаружены в популяциях животных Средней Азии. Уже сейчас известно, что генетическое разнообразие современной популяции большеклювой камышевки необычно велико. Изучение этой птицы на местах размножения позволит более полно представить закономерности видовой дивергенции в группе камышевок и более точно судить об эволюции социального поведения вообще. Интересна птица и с точки зрения исследования межвидовых отношений. Наиболее близкая к ней по родству садовая камышевка обитает на огромном пространстве. Большеклювая же камышевка в сезон размножения, вероятно, не спускается из горных долин в тугаи равнинных рек. Причиной тому может быть высокая численность южной бормотушки, которая, напротив, не поднимается в горы. Чтобы судить о взаимоотношениях между большеклювой и садовой камышевками и бормотушкой, необходимо исследовать тугаи на равнинных реках Средней Азии и окончательно выяснить, может ли нет гнездиться там большеклювая камышевка, описать поведение, численность и сроки пребывания пролетных особей, характер отношений с другими птицами.

* * *

По ходу рассказа мы неоднократно вспоминали о противоборстве интересов Российской и Британской Империй на просторах Центральной Азии. Тогда, невзирая на политическую обстановку, русские и британские натуралисты совместными усилиями расширяли знания о природе этого региона. Изучение большеклювой камышевки, населяющей территории нескольких независимых государств, и садовой камышевки, ежегодно продельвающей путь из Индии в Россию и обратно, возможно только путем эффективного международного сотрудничества. Свою лепту в эти исследования могут внести и читатели. Время ярких открытий в полевой зоологии еще не миновало. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-04-01363.

Новоторжский клад

П.Д.Малыгин,
кандидат исторических наук
Н.А.Сарафанова,
Автономная некоммерческая организация
«Новоторжская археологическая экспедиция»
г.Торжок (Тверская обл.)

В 2010 г., в год 30-летия Новоторжской археологической экспедиции (научный руководитель — П.Д.Малыгин), удалось собрать коллекцию, подтверждающие существование Торжка уже на рубеже X—XI вв. Об этом свидетельствует раннегончарная и лепная керамика, найденная в древнейшем предматериковом слое раскопа Спасский-4.

Основные исследования в прошедшем полевом сезоне велись на территории Нижнего городища, которое до первой половины XVIII в. представляло собой основную часть средневекового кремля г.Торжка.

В слое, сохранившем следы пожара, который был связан с разорением этого города после двухнедельной его обороны от войск хана Батые весной 1238 г., был найден вещевой клад — всего 252 предмета из серебра. Среди них — великолепные женские украшения: четыре шестилучевых колта, пара колоколовидных рясен, трехбусинные височные кольца, перстень, два наперсных креста с серебряными наконечниками, зерновые и сканые бусины из серебра, медальон с изображением креста на Голгофе. Наибольшее сходство этот набор женских украшений имеет с кладом* из Старой Рязани 1070 г.

В другую часть клада входят семь фрагментов тканей, пять из



Клад в процессе расчистки: височные кольца и цепочки от рясен (вверху). Серебро. Фрагмент ткани с золотым шитьем (внизу).

Здесь и далее фото Н.А.Сарафановой

© Малыгин П.Д., Сарафанова Н.А., 2011

* См. также: Чернецов А.В. Шестнадцатый клад из Старой Рязани // Природа. 2006. №6. С.58—66.



Крест нательный. Камень.

Здесь и далее фото Н.В.Погорелова



Колт. Серебро. Зернь, скань.



Височное трехбусинное кольцо. Серебро. Зернь.



Бусина. Серебро. Зернь.



Медальон с христианской символикой. Серебро.



Накладки со вставками из стекла. Серебро. Позолота.

которых украшены серебряными с позолотой накладками. Эти накладки представлены наборами из геометрических фигур, нашитыми на ткань в виде сложных орнаментальных композиций. В орнаментах использован синий бисер. Во многих накладках имеются отверстия для вставок из стеклянных бус и смальты, что отличает Новоторжский клад от других городских кладов. На одном из фрагментов ткани сохранилась вышивка

золотыми нитями с изображениями архангелов и аркатурным пояском.

В Новоторжском кладе 2010 г. не обнаружено денежных слитков, а сами предметы, видимо, длительное время находились в употреблении. Все это позволяет предположить, что клад представляет собой семейную казну, в которой в безмонетный период накапливались украшения из серебра. Сфрагистические находки из раскопа 2010 г. пред-

ставлены 15 печатями, шесть из которых уникальны. Гипотеза о существовании печатей новоторжских посадников, высказанная П.Д.Малыгиным еще в 1980-х годах, нашла убедительное подтверждение благодаря обнаружению в слоях XIV–XV вв. печатей, оформленных аналогично посадничьим буллам Новгорода и Двинской земли. Впервые в культурном слое Торжка была найдена печать, относящаяся ко второй половине XI в. ■

Великое вымирание биоты — результат астероидной атаки?

М.С.Бараш,
доктор геолого-минералогических наук
Институт океанологии РАН
Москва

Широко известна массовая гибель организмов 65 млн лет назад, которую связывают с падением на Землю крупного астероида и образованием ударного кратера Чиксулуб на шельфе п-ова Юкатан в Мексике [1]. Однако гораздо большей по масштабам была Великая (крупнейшая из известных) катастрофа на рубеже палеозойской и мезозойской эр (251.0±0.4 млн лет назад). Тогда вымерло до 96% организмов в океане, и биоразнообразие сократилось с ~250 тыс. видов до менее 10 тыс. Конец пермского периода стал финалом продолжительного развития ругозных и табулятных кораллов. Массовое исчезновение испытали мшанки, иглокожие, моллюски. Полностью вымерли типичные для палеозоя трилобиты. Из 60 родов брахиопод, типичных для палеозоя, выжило 10. Вымерли примитивные рыбы — акантодии. Тяжелейший кризис пережили одноклеточные донные организмы (фораминиферы) и планктонные (радиолярии).

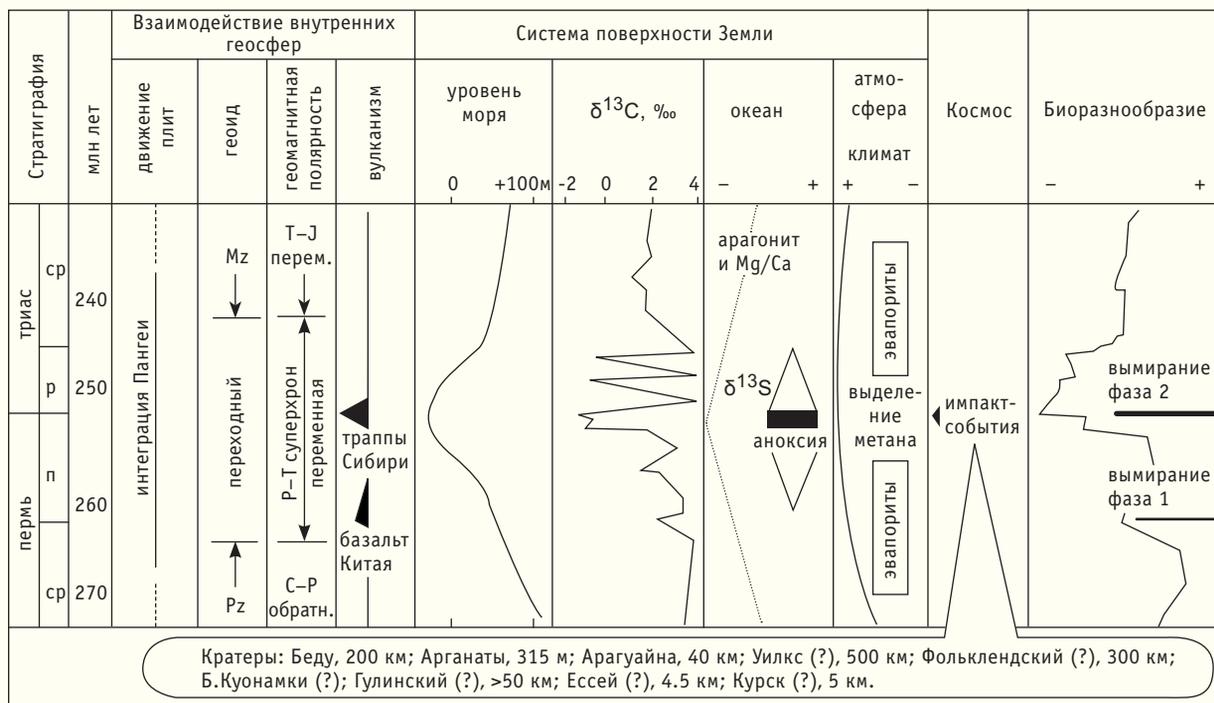
И вымирание биоты, и глобальные изменения условий среды происходили на протяжении двух фаз. Первая — на границе средней и поздней перми, 260 млн лет назад, — совпадает с началом возникновения бескислородных условий (аноксии) океана; число родов сократилось тогда в основном за счет прикрепленных ко дну форм (бентоса). Во время второй фазы —

на пермо-триасовой границе, около 251 млн лет назад, — малоили бескислородные условия охватили почти всю толщу вод океана; на этом этапе биоразнообразие сократилось в основном за счет плавающих организмов.

Для объяснения причин гибели биоты предложено множество гипотез: исчезновение экологических ниш в процессе соединения материковых плит в суперматерик Пангею; гиперсолёность; аноксия (бескислородная среда); повышенное содержание CO₂; отравление H₂S; падение уровня моря до минимального значения в фанерозое (540 млн лет); трансгрессии; вулканизм и связанные с ним потепление и кислые дожди; кратковременные эпизоды похолодания и другие факторы, обоснованные палеонтологическими, геологическими, геохимическими, изотопными и прочими данными. Предполагается связь биоразнообразия с тектоникой, эволюцией геоида, конвекцией мантии и даже сдвигом ядра, вызывавшим смену геополярности. Причинные связи осуществились через колебания уровня моря, вулканизм, выделение метана, усиление стратификации океана, аноксию. Важно отметить, что некоторые из этих факторов находились в отношениях соподчинения, другие действовали независимо, причем в довольно ограниченном интервале времени. Изменения внутренних геосфер и систем земной поверхности и биосферы происходили одновременно.

По современным представлениям, они стали происходить около 265 млн лет назад, когда после 50 млн лет стабильности геомагнитного поля начался длительный период его частых колебаний. Это событие, обусловленное изменениями состояния ядра и мантии Земли, через 5 млн лет проявилось на поверхности Земли серией событий, перечисленных выше.

Выявлена четкая связь между гибелью биоты и вулканическими извержениями. Так, временная корреляция прослежена между излияниями базальтов в Южном Китае и первой фазой вымирания, а также между крупнейшими излияниями сибирских траппов, и второй, главной, фазой вымирания. Извержения вызвали «вулканическую зиму», сопровождавшуюся глобальным похолоданием из-за аэрозольного экранирования атмосферы, выделением вредных газов и кислотными дождями. Затем следовало «вулканическое лето», задерживая восстановление биоразнообразия. Разложение газогидратов, захороненных в охлажденных донных осадках, вело к выделению в атмосферу огромных количеств CO₂ и возникновению очень сильного парникового эффекта. Быстрое потепление вызвало вредные для биосферы изменения среды: ослабление вертикального перемешивания вод океана (при котором ко дну опускается вода, обогащенная кислородом, а ко поверхности поднимается глубинная вода, обогащенная био-



Абиотические факторы и Великое вымирание 250 млн лет назад (Pz — палеозой, Mz — мезозой, C — карбон, P — пермь, T — триас, J — юра; р — ранний, ср — средний, п — поздний). По [2], с изменениями (добавлены уровень моря, импакт-структуры).

генными элементами); в результате развивались стагнация и аноксия, падали биопродуктивность и воспроизводство в приповерхностных водах органического вещества как основы пищевой цепи для всех организмов океана.

Вымирание происходило в течение нескольких миллионов лет, однако наиболее интенсивным и внезапным оно было 251.4 млн лет назад в интервале менее чем 500 лет. Но не повлияли ли на эту ситуацию импакт-события, как это случилось 65 млн лет назад? Несомненно, триггером резких изменений экологических условий были удары крупных астероидов или комет. Влияние импакт-событий доказано лишь в последние годы [2], а первые публикации появились в 2001 г.

Характерный для столкновения с крупными астероидами материал был обнаружен на пермо-триасовой границе в нескольких разрезах: ударный кварц — в Антарктике и Австралии; Fe-Ni-Si- и Fe-Ni-сферулы, фуллерены с газом неземного происхождения (³He) — в Китае и Японии; Cr/Ni-шпинель — в Восточной Европе и Кавказском регионе. Более того, найдены сами ударные кратеры, приуроченные к пермо-триасовой границе: кратер Беду диаметром 180–200 км — в Австралии, кратер Арагуайна диаметром 40 км — в Бразилии, кратер Арганаты диаметром 315 м — в Казахстане. Подо льдом Антарктиды на Земле Уилкса геофизическими методами с использованием радарного картирования выявлен 500-километ-

ровый кратер. Предполагается, что это следствие удара 55-километрового астероида. Однако для подтверждения этого импакт-события требуются непосредственные доказательства.

Таким образом, на фоне уже развившихся на Земле губительных для живых организмов процессов в нашу планету врезалось несколько крупных астероидов, которые почти «добили» погибающую биоту. Одновременное изменение многих определяющих биоразнообразие факторов (в том числе не связанных причинно-следственными отношениями) доказывает существования общей космической первопричины, как то: пересечение Солнцем спиральных галактических рукавов, его колебания перпендикулярно галактической плоскости и др. ■

Литература

1. Бараш М.С. Тогда погибли не только динозавры // Природа. 2010. №6. С.84–86.
2. Yin H, Feng Q, Lai X et al. The protracted Permian-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian-Triassic boundary // Global and Planetary Change. 2007. V.55. №1–3. P.1–20.

Удивительный мир Коенини

С.Д.Шлотгауэр,
доктор биологических наук
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
г.Хабаровск

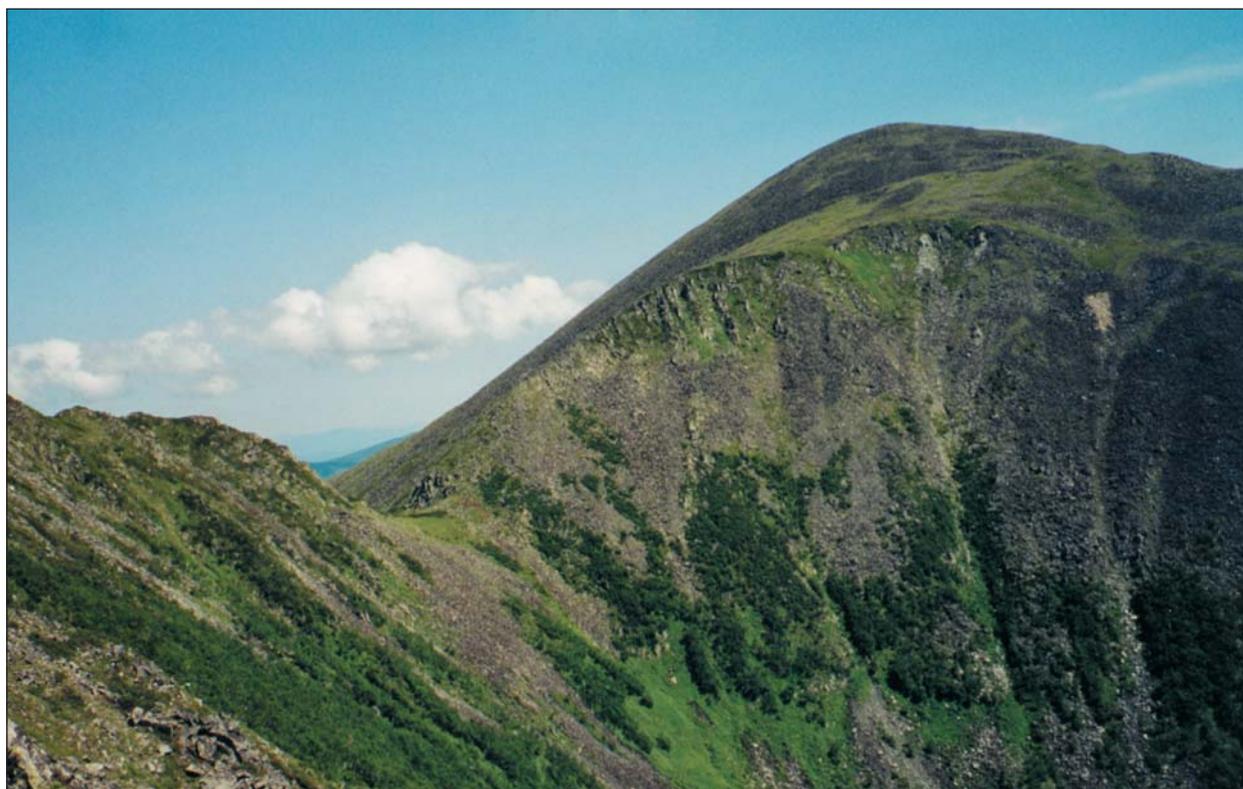
Горную местность западного склона северного Сихотэ-Алиня — Коенини — невозможно отыскать на современных картах. Это полузабытое название, существовавшее среди охотников-удэгейцев, относится к системе водораздела рек Хора и Бикина. Впервые его упомянул в своих работах в середине прошлого века известный зоолог Алексей Иванович Куренцов. Сердце этого горно-

го массива — гора Ко (2004 м) — вторая по высоте вершина Сихотэ-Алиня. Она расположена в 190 км к юго-востоку от г.Хабаровска. Гора увенчана скалистыми останцами, которые, согласно древним верованиям аборигенов, населены злыми духами — Кокдзямуджугдыни. Труднодоступность горной страны Коенини и сегодня связана с сильной расчлененностью рельефа. Этому способствует многовековая деятельность бурных постоянных и временных

потоков: Кафэ, Катена, Ко, Чуке-на, Дзявы и др., питающих реки Хор и Уссури.

Коенини полна контрастов: с одной стороны, ее вершины — это сосредоточие реликтовых форм рельефа и растительных сообществ, возникших и сформировавшихся в ледниковые эпохи четвертичного периода. Курумы, моренные гряды, трог, цирки, медальоны морозного выветривания дали приют борельным, северо-таежным, гипоарктическим, аркто-альпийским

© Шлотгауэр С.Д., 2011



Гора Ко.

Фото автора



Тайга Коенини.

Фото автора

и высокогорным формациям, общим с северными широтами Евразии. С другой стороны, эта территория относится к Дальневосточной хвойно-широколиственной области, где господство на склонах и в долинах принадлежит широколиственным породам и сосне корейской (кедру) со свитой многочисленных кустарников, трав, мхов и грибов, связанных

общностью происхождения с Юго-Восточной Азией. Немаловажную роль в составе высокогорных сообществ играют эндемичные виды растений. Гора Ко — это один из центров видообразования на Сихотэ-Алине, что связано с сохранением в горных убежищах специфических климатических условий.

На Коенини прослеживается три высотных пояса: лес-

ной, представленный кедрово-широколиственными лесами и пихтово-еловыми и лиственничными формациями бореального типа, которые формируются на высотах от 300 до 1200 м; подгольцовый (1200—1700 м) с господством редколесья из ели, пихты и шерстистой березы, кедрового стланика, микробиоты; горно-тундровый (гольцовый) пояс, простирающийся выше 1650 м, с лишайниково-каменистыми дриадово-кустарничковыми и кустарниковыми тундрами.

Пестрая мозаика рельефа и микроклиматических условий сильно осложняет границы высотной поясности. Так, на северных и северо-западных склонах, подверженных ветровой деятельности, их верхние и средние части вообще лишены лесной растительности, а заросли кедрового стланика представлены разрозненными латками. Протекающая здесь река Дзява и ее притоки одеты в редкостойные лиственничники и ивово-тополевые сообщества, перемежающиеся с зарослями ольхового и кедрового стлаников.



Таежный приют в долине р.Ко.

Фото М.В.Крюковой

Высокотравные ельники по долинам рек Ко, Кафэ и Катена, переходя в подгольцово-редкостойные насаждения на высоте 800–900 м, сильно отличаются от долинных по своему строению и структуре. Процесс усыхания этих лесов в горах отмечали в середине прошлого века дальневосточные исследователи Н.Г.Васильев и Г.Э.Куренцова [1]. Количество ели аянской в ярусах древостоя в настоящее время составляет 4 единицы вместо 8, приводимых этими авторами. Фауность, обилие древоразрушающих грибов на стволах, отсутствие подраста свидетельствуют, что происходит изреживание древостоя.

Долинные темнохвойные леса находятся в лучшем состоянии. Расположенные на контакте с кедрово-широколиственными формациями, пихтово-еловые леса вобрали и сохранили в своих пологах многие элементы кустарников и трав, свойственные Юго-Восточной Азии. К ним относятся тис (*Taxus cuspidata*), падуб (*Ilex rugosa*), седлоцветник (*Erbipplantibus sachalinensis*), галеарис (*Galearis cyclobila*), калипсо (*Calypso bulbosa*), пузатка (*Gastrodia elata*) и др.

Каменноберезовые формации с преобладанием березы шер-



Реликтовый лимонник в плодах.

Фото А.Г.Бояринова

стистой (*Betula lanata*) окаймляют ельники на склонах юго-восточной экспозиции на высоте 1500 м. Здесь скапливается большое количество снега, и поэтому сохраняются эндемичные сихотэ-алиньские растения, такие как микробиота (*Microbiota decussata*), бадан (*Bergenia pacifica*), рябинник (*Sorbaria sorbifolia*). В ветровой тени густые заросли микробиоты

могут выходить в нижнюю полосу гольцов.

Хорошо прогреваемые в период вегетации южные склоны в истоках р.Ко заняты парковыми разнотравными каменноберезняками с характерным набором видов лесных сообществ, расположенных в основании склонов. Это красоднев (*Hemerocallis middendorffii*), ландыш (*Convallaria keiskei*), адонис



Лилия двурядная.

Фото автора



Бадан тихоокеанский — эндемик Сихотэ-Алиня.

Фото А.Г.Бояринова



Поверженный исполин — кедр — в истоках Матая.

Фото автора

(*Adonis amurensis*), венерин башмачок (*Cypripedium guttatum*), спаржа (*Asparagus schoberioides*) и многие другие. Их процветание на значительных высотах (1600—1700 м) аномально и может рассматриваться как реликтовое, сохранившееся в специфическом рефугиуме при изменении климатических условий последнего временного отрезка четвертичного периода.

Криволесье из шерстистой березы сменяется сообществами кедрового стланика, оптимум развития которого достигается на высотах 1500—1750 м на грядово-моренном рельефе, по днищам цирков. Там, где лесная растительность развита слабо, стланик образует непроходимые заросли.

Экологическое состояние кедрового стланика в последнее десятилетие претерпевает сильные изменения. Приросты одного года, как и многолетние побеги, поражаются и отмирают. Возможно, это связано с климатическими изменениями минувшего столетия в бассейне Амура. Как показал анализ многолетних климатических показателей, проведенный Н.В.Новороцким, среднегодовая температура в ближайшем пункте,

находящемся в 100 километрах южнее горы Ко, за последние 30 лет повысилась на 1,8° [2]. О потеплении также свидетельствуют быстрое исчезновение снежников (к середине июля, в то время как в 1958 г. они сохранялись в течение всего вегетационного периода), разрушение вечной мерзлоты под курумами, снижение водности мелких водотоков, иссушение ледниковых озер.

Растительность гольцового пояса характеризуется сложной пространственной структурой. На небольших по площади участках отмечено высокое разнообразие контактирующих ценозов. Более всего распространены на Коенини ерниковые, ивняковые и кашкарные тундры, где господство получили высокогорные и монтаные виды растений, общие с высокогорьями Восточной Сибири — *Betula divaricata*, *B.exilis*, *Salix berberifolia*, *Rhododendron aureum*, *R.redowskianum*.

Развитию лугов, свойственных горам альпийской системы, на гольцах Дальнего Востока препятствует глубокое и сильное промерзание горных органогенных почв и субстрата при сравнительно небольшом развитии снежного покрова. На защищен-

ных от ветра участках с холодным или проточным режимом увлажнения, вблизи снежников формируются среднетравные лужайки. Они отличаются от альпийских, развитых на Кавказе, в Альпах и Карпатах, наличием мохово-лишайниковых, кустарниковых и кустарничковых синузий. Так как температура почв и грунтовых вод низкая, в составе лужаек преобладают высокогорные, общие с Сибирью виды растений азиатской ареалогической группы, гипоарктические и арктоальпийские: *Aster alpinus*, *Rhodiola rosea*, *Salix phlebophylla*, *Aquilegia amurensis*, *Carex rigidoides* и другие.

Дальневосточные высокогорные виды и эндемики северного Сихотэ-Алиня в сложении фитоценозов играют значительную роль в сухих щебнистых и дриадово-кустарничковых тундрах. Это *Thephrosia sichotensis*, *Veronica stelleri*, *Stelleriana altimontana*, *Orostachys aggregate*, *Popoviocodonia stenocarpa* и др. Крупноглыбовые россыпи и курумники обрамлены популяциями узколокального эндемичного вида северного Сихотэ-Алиня — *Heuchera sichotensis*.

Горная система Коенини — настоящая сокровищница Сихотэ-Алиня, эталон его среднегорных и высокогорных ландшафтов. Высокое биологическое разнообразие растительного покрова, великое множество биотопов наряду с расчлененностью рельефа и экотонами определяют богатство животного мира. Здесь расположены основные очаги обитания в Хабаровском крае тигра амурского (*Panthera tigris altaica*), амурского лесного кота (*Prionailurus euptilura*), солонгоя (*Mustela altaica raddei*), горала (*Nemorbaedus caudatus*), многочисленных редких птиц из Красной книги Хабаровского края и Российской Федерации. К ним относятся: уссурийский журавль (*Grus japonensis*), райская мухоловка (*Terpsiphone paradisi*), ширококорот (*Eurystomus orientalis*), рыжешейная овсян-

ка (*Emberiza yessoensis*) и многие другие.

Между тем изменение, сокращение и исчезновение местобитаний животных в результате лесопромышленных рубок и сопутствующих им пожаров в бассейнах левых притоков Хора достигло катастрофических показателей. На реках Матае, Долми и Сукпае варварски вырублены последние остатки кедрово-широколиственных лесов, поймы лишились водоохраных ильмово-ясеневых сообществ. Сейчас щупальца лесопромышленных компаний подобрались вплотную к сердцу Коенини — бассейну р.Ко. Снижение экологических функций растительности уже привело к нарушению устойчивого развития территории в бассейнах притоков Хора. Увеличение числа склоновых оползней, селей, рост незарастающих осыпей и курумов в настоящее время ведет к загрязнению рек, что незамедлительно отрицательно сказывается на состоянии редких и ценных промысловых представителей ихтиофауны.

В результате продолжающегося сокращения лесных массивов в бассейне р.Хора происходит нарушение его биогеографических функций. С незапамятных времен эта территория выполняла роль экологического коридора, обеспечивавшего обмен генофондом биоты на значительной части Сихотэ-Алиня, и прежде всего между бассейнами рек Бикина, Гура, Анюя, Самарги и Тумнина. Этим коридором пользуются многие животные во время сезонных миграций, в том числе крупные хищники: бурый, белогрудый медведи и тигр. Этот своего рода связующий узел, поддержи-



Семья бурого медведя.

Фото А.Г.Бояринова

вающий движение генетических потоков и в целом стабильность экосистем большого региона, сегодня находится под угрозой разрушения [3].

Не так давно гора Ко объявлена памятником природы. В его состав вошли лишь небольшие площади кедрово-ши-

роколиственных и широколиственных лесов, образующих зону с самым высоким индексом биоразнообразия. Однако в составе Бикинско-Хорского водораздела необходимо выделение заповедной территории со статусом национального парка — «Коенини». ■

Литература

1. Васильев Н.Г., Куренцова Г.Э. Высотная поясность горы Ко (Хабаровский край) // Комаровские чтения. Вып. VIII. Владивосток, 1960. С.24—41.
2. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // Метеорология и гидрология. 2007. №2. С.43—53.
3. Воронов Б.А. Антропогенные изменения природных экосистем Приамурья // Изменения природно-территориальных комплексов в зонах антропогенного воздействия. М., 2006. С.61—68.

Иосафатова долина

В.Н.Комаров,
кандидат геолого-минералогических наук
Российский государственный геологоразведочный университет
им.С.Орджоникидзе
Москва

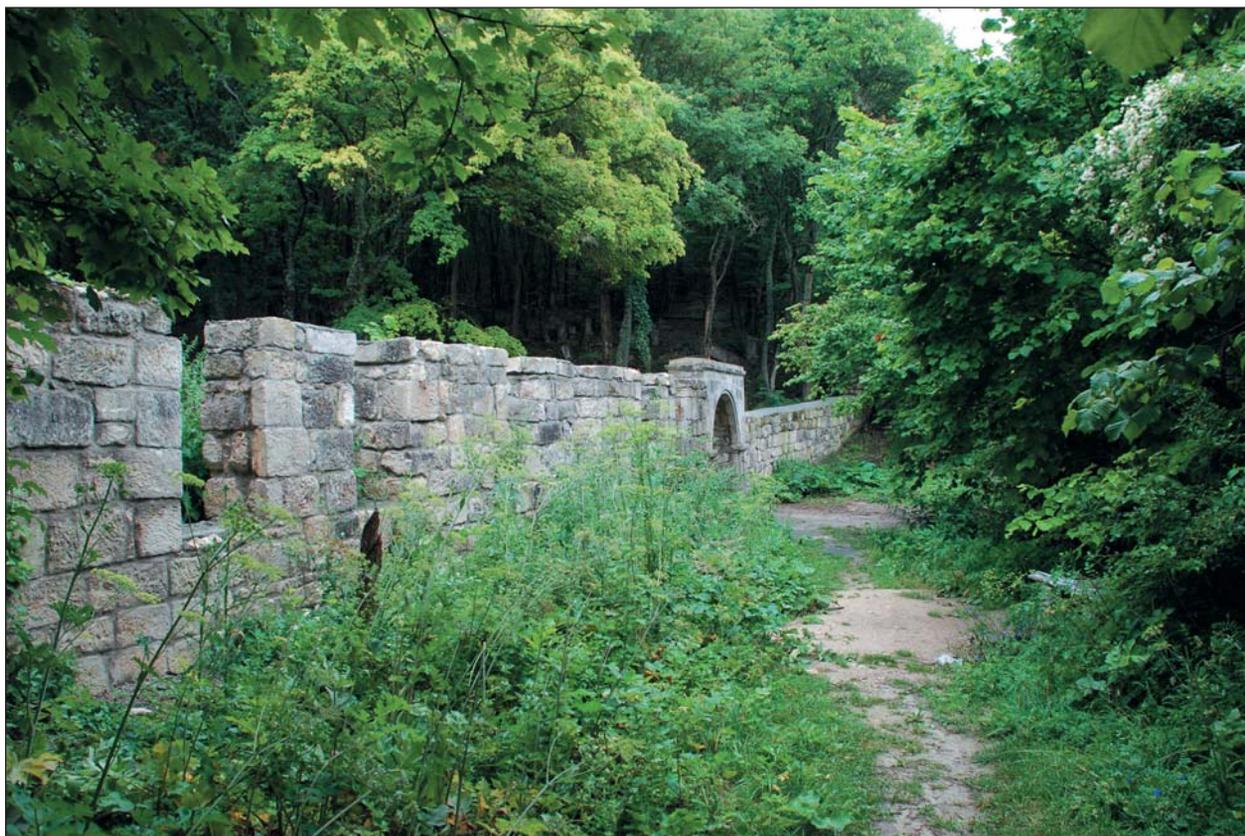
Одно из наиболее посещаемых мест в Горном Крыму — пещерный город Чуфут-Кале («иудейская крепость»). Называется так он с первой половины XVII в., когда преобладающим населением в крепости стали караимы — иудеи, последователи Ветхозаветной Библии [1, 2]. Но мало кому

известно, что в непосредственной близости от Чуфут-Кале, за его восточной стеной, располагается еще один уникальный памятник истории — Иосафатова долина с древним караимским кладбищем. Название дано ей караимами по аналогии с одноименной долиной погребений в окрестностях Иерусалима, где, по преданию, состоится Страшный суд. Сходство этих районов

отмечено давно, и башня крепости над южным обрывом Иосафатовой долины еще более тому способствует. Возможно, местные зодчие воспроизвели такую башню именно с целью придать долине истинно библейский облик.

Кладбище огорожено невысокой стеной, сложенной из блоков известняка. За скромной аркой ворот, среди густых изумрудных

© Комаров В.Н., 2011



Стена, ограждающая караимское кладбище.

Здесь и далее фото Е.В.Попова

лесных зарослей, открывается поражающее своим видом необозримое море надгробий. Среди них, в самом начале, — надгробие А.С.Фирковичу (1786—1874), выдающемуся исследователю этногенеза караимов, который посвятил всю жизнь восстановлению и сохранению исторической памяти своего народа. Многие надгробия, покрытые мхом и переплетенные лианами, глубоко ушли в землю. В прошлом здесь росли только старые дубы (четыре-пять из них еще можно увидеть в конце кладбища). Рубить их было запрещено. Они считались священными, а само кладбище в связи с этим имело местное татарское название «Балта-тиймез» («топор не касается»).

Надгробия очень разнообразны. Преобладают старинные однорогие и двурокие, но встречаются и лежащие или стоящие плиты, обелиски, столы и гробообразные памятники. Все они представляют интереснейшее собрание каллиграфически исполненных эпитафий и изящных резных орнаментов, в которых сплелись элементы самых разных стилей. Орнаменты несли не только декоративный, но и глубокий символический смысл. Мотивы украшений мастера черпали из окружающей живой природы, но при этом искусно стилизовали их. Благодаря такому приему простые и знакомые предметы возводились на несравненно более высокий уровень, наделялись особой внутренней эмоциональностью и лирической выразительностью. Так, кипарис, характерный элемент малоазийского искусства, — знак скорби и печали; но он также и символ вечности. Широко распространен мотив круга-розетки — символа «из единства — множество». Орнаменты характеризуются легкостью и безупречной законченностью контура. Надписи, зачастую с цитатами из Библии, выполнены на древнееврейском языке, изредка — на караимском, но древнееврейски-



Арка ворот караимского кладбища.

ми буквами. Надо отметить, что язык караимов весьма близок к крымско-татарскому, древнееврейский же служил лишь целям культа. Надписи конца XIX — начала XX в. обычно двуязычные. Значительная часть надгробных надписей была собрана и издана Фирковичем.

После того как во второй половине XIX в. жители покинули Чуфут-кале, кладбище не было заброшено, а, напротив, приобрело значение общена-

циональной усыпальницы. Захоронение здесь считалось особенно почетным. В это время в основном появляются памятники из дорогих пород камня, в том числе из мрамора. Некоторые надгробия, так называемые кенотафы, или йол-таш — «придорожный камень», ставили людям, умершим и похороненным вдали от Чуфут-Кале. Самые древние погребения в Иосафатовой долине относятся к 956—1048 гг. [3].



Небольшой фрагмент безбрежного моря надгробий.

Скалы, тенистое уединение, общий библейский вид Иосафатовой долины издавна привлекали художников. В 60-х годах XIX в. сюда приезжал И.Н.Крамской, написавший ряд этюдов для

картины «Христос в пустыне». Горный Крым исключительно богат историко-архитектурными комплексами. Совершенно особое место среди них по праву занимает Иосафатова доли-

на, где в бесчисленных холодных камнях воплощены живые человеческие чувства, оставленные самой немногочисленной и малоизученной из крымских народностей. ■

Литература

1. Сутруненко Ю.П. Древний колодец в Чуфут-Кале // Природа. 2007. №7. С.69—73.
2. Фадеева Т.М. По Горному Крыму. М., 1987.
3. Фадеева Т.М., Соколова М.В. Бахчисарай и окрестности: Путеводитель. Симферополь, 2003.

Электронный парамагнитный резонанс в биологии

В.В.Птушенко,

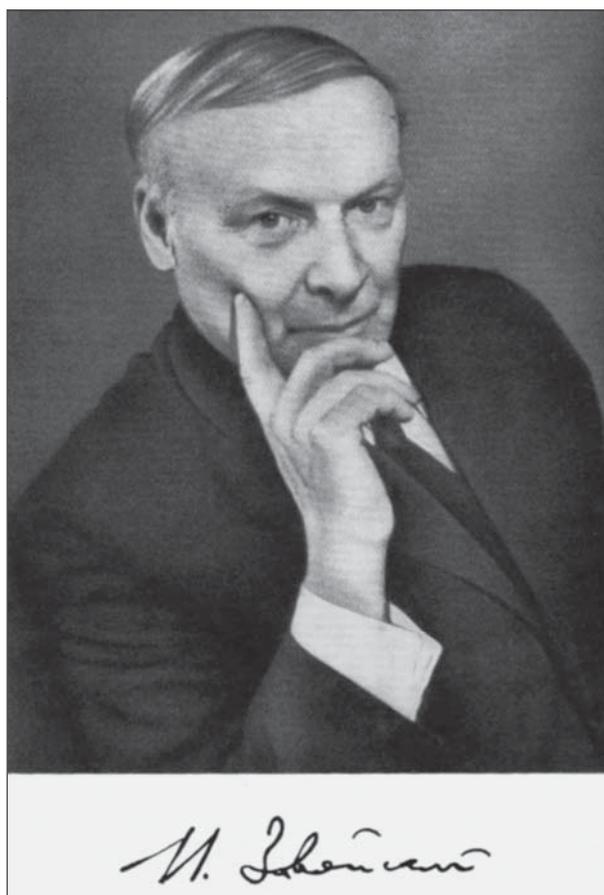
кандидат физико-математических наук

Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского Московского государственного

университета им.М.В.Ломоносова,

Институт биохимической физики им.Н.М.Эмануэля РАН

Открытие, во многом определившее облик современной науки и «наукоемких технологий», было сделано в начале 1944 г. в холодной, голодной военной Казани. Доцент Казанского университета Е.К.Завойский вместе со своими сотрудниками С.А.Альтшулером и Б.М.Козыревым открыли явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [1]. Значительность открытия и тяжесть условий, в которых оно было сделано, являют собой настолько разительный контраст, что иначе как научным подвигом назвать его невозможно. Вероятно, такое несоответствие, трудно воспринимаемое обыденным сознанием, и стало основанием для многих мифов, возникших позже вокруг самого явления и истории его открытия — от анекдотических до весьма драматичных. Вот лишь небольшой их перечень: будто бы «без радарной техники прийти к ЯМР и ЭПР было невозможно; что нобелевские лауреаты Ф.Блох и Э.М.Пёрселл проводили свои эксперименты почти одновременно с Завойским» [2. С.102—103]; будто ЭПР «теоретически открыли» задолго до того, как его «экспериментально обнаружили»; что это было чисто случайное открытие; или же, наоборот, что лаконичность Завойского и всем очевидная значимость открытия позволили тому сформулировать описание своего открытия в виде докторской диссертации всего на трех страницах. Видимо, такое обилие мифов говорит об истинном масштабе события.



Евгений Константинович Завойский (1907—1976).

Немного истории

В действительности же открытию ЭПР предшествовала многолетняя работа. Поиском резонансного поглощения электромагнитных волн парамагнетиками Завойский заинтересовался еще задолго до войны. По свидетельству его коллег и друзей, «молодой физик Евгений Константинович Завойский чуть ли не со студенческих лет вына-

шивал мысль об использовании электромагнитных полей радиочастотного диапазона для изучения строения и свойств вещества» [3]. К 1930-м годам в физическом сообществе уже вызрела идея синтеза двух областей физики — радиоспектроскопии и парамагнитной релаксации. В многочисленных теоретических работах, посвященных парамагнитной релаксации и взаимодействию парамагнетиков с переменными элек-

ромагнитными полями, были сформулированы основные понятия и принципы этой новой области физики [3, 4]. Однако ни одна из этих работ не давала ответа на вопрос об условиях и даже принципиальной возможности наблюдения резонансного поглощения электромагнитных волн в твердых телах. «Грубые... теоретические оценки этих времен (магнитной релаксации. — В.П.), приведенные в работе Гайтлера и Теллера... могли отбить всякую охоту к постановке опытов» [3]. Тогда главным экспериментальным достижением тех лет были опыты И.А.Раби по поглощению радиочастотных электромагнитных волн пучками атомов в магнитных полях. Однако и в них отсутствовала парамагнитная релаксация — основное условие наблюдения резонансных явлений. В 1930-х годах поиском парамагнитного резонанса в конденсированном веществе занимался голландский физик К.Я.Гортер. В предвоенные годы ему не удалось обнаружить парамагнитный резонанс — одна из его статей так и называлась: «Отрицательный результат эксперимента по обнаружению ядерного магнитного резонанса» [5]. После начала войны, по его собственному признанию, «условия в Голландии были слишком тяжелыми, чтобы проводить исследования любого необычного вида» [6].

Учитывая отрицательный опыт Гортера, Завойский, непревзойденный экспериментатор, разработал оригинальный чувствительный метод регистрации величины поглощенной электромагнитной энергии (метод сеточного тока, в отличие от калориметрического метода Гортнера). Надо заметить, что Завойскому принадлежит отнюдь не только авторство в открытии самого явления. Его оригинальные и исключительно плодотворные технические идеи до сих пор лежат в основе техники ЭПР-спектроскопии. Среди них — и упомянутый метод регистрации поглощенного излучения (хотя и в несколько обновленном, полупроводниковом варианте), и метод модуляции постоянного магнитного поля.

Итак, к началу 1941 г. Завойский вплотную подошел к открытию ядерного магнитного резонанса. В мае-июне 1941 г. он со своими коллегами впервые зарегистрировал сигнал ядерного магнитного резонанса на протонах воды. Вот как вспоминает об этом участник событий Б.М.Козырев: «Совсем незадолго до начала войны Евгению Константиновичу удалось действительно наблюдать, и не однократно, а многократно, сигналы ядерного магнитного резонанса в водных растворах парамагнетиков... Главной причиной была наша скромность, точнее сказать, осторожность. Из-за того что не всегда получались результаты, мы побоялись их опубликовать, зная теоретические прогнозы о том, что времена релаксации исчисляются миллионами лет и что никакого эффекта быть не должно. Вероятно, если бы можно было поработать еще несколько месяцев, мы бы все-

таки опубликовались...» [7. С.86—98]. Начавшаяся война и позиция Академии наук, эвакуированной в Казань, не позволили Завойскому завершить эту работу. Драматические события того времени конспективно описаны им в воспоминаниях: «Проточная система по ядерному резонансу. Война; появление комиссии из Москвы... разгром установки как “кустарного сооружения”... Комиссия... стояла полминуты и затем прозвучала фраза: “Здесь все самодельное и не имеет никакой научной ценности”... Угроза была приведена в исполнение, комната разгромлена, оборудование как мусор выброшено за дверь» [8. С.27]. В конце 1943 г., после возвращения Академии в Москву, Завойский, наконец, смог возобновить свои исследования, однако решил не возвращаться к изучению ЯМР, а заняться поглощением радиоволн парамагнитными веществами. Эта работа привела его уже в начале 1944 г. к открытию резонансного поглощения электромагнитных волн, обусловленного электронными магнитными моментами, — явления ЭПР.

С этого момента количество работ в области магнитной спектроскопии, как фундаментальных, так и прикладных, нарастает лавинообразно. В 1946 г. группы Перселла и Блоха сообщили о своем открытии ядерного магнитного резонанса (Нобелевская премия 1952 г.). Альтшулер в 1952 г. предсказал, а позднее открыл акустический парамагнитный резонанс, в 1956 г. Дж.Фэр сообщил о двойном электронно-ядерном резонансе; открыто множество других резонансных явлений в магнитных системах. Методы магнитного резонанса оказались чрезвычайно эффективны в изучении электронного строения вещества, в химическом анализе, минералогии и др. [9, 10].

Полвека в биологии

Проникновение этого метода в биологические исследования связано с именами Б.Коммонера в США и Л.А.Блюменфельда и А.Э.Калмансона в нашей стране. В 1952 г. молодой химик Лев Александрович Блюменфельд, прочтя диссертацию Завойского, понял возможности этого метода для решения вопросов, связанных с миграцией электрона в ферментативных системах. Совместно с Калмансоном они создали спектрометр ЭПР, на котором затем были получены первые спектры ЭПР нативных и денатурированных белков, продуктов действия ионизирующего излучения на сухие препараты различных биохимических соединений и высушенных тканей животных, культур живых дрожжей в процессе их роста и деления и др. [11, 12]. Коммонер в США обнаружил спектры ЭПР практически во всех лиофильно высушенных биологических (растительных и животных) тканях, обратив внимание, что все они связаны с метаболической активностью соот-

ветствующих тканей, а позже исследовал жидкие суспензии хлоропластов при разных условиях освещения. Как выясняется в последнее время из архивных материалов, Завойский еще в середине 1930-х годов интересовался действием ультракоротких волн — будущей основы открытого им ЭПР — на семена и растения [7. С.46—49, 184—187]. Однако анализ всех проводившихся к тому времени в Советском Союзе работ по этой теме привел его к выводу об их бесперспективности из-за очень низкого уровня, связанного, в частности, с разобщенностью биологов и физиков.

За прошедшие с тех пор полвека метод ЭПР сыграл значительную роль в исследованиях биологических систем в самых разнообразных областях биофизики, биохимии, молекулярной биологии, физиологии и медицины. Его используют в радиационной биологии, при изучении механизмов ферментативных реакций, метаболизма активных форм кислорода, в фотобиологии и в исследованиях биоэнергетических процессов [10, 13, 14]. С помощью ЭПР открыли участие оксида азота в метаболических процессах в животном организме, что дало начало целому направлению в современной физиологии и медицине [15]. Развитие технических возможностей метода ЭПР позволило изучать сверхбыстрые процессы в молекулярных комплексах фотосинтетических реакционных центров, с одной стороны, и физиологические процессы в живом организме — с другой.

Сегодня спектр задач, решать которые помогает метод ЭПР, очень широк. Мы же остановимся подробнее только на одном из многочисленных применений данного метода. Поскольку его физические основы подробно изложены во многочисленных, как специальных [16], так и популярных изданиях [14], то при описании биологических применений метода мы ограничимся лишь самыми необходимыми пояснениями.

Метод ЭПР позволяет работать с парамагнитными веществами; это делает его удобным в изучении соединений металлов переходных групп (само явление было открыто на солях марганца, меди, хрома). При всей биологической важности металлоорганических соединений (прежде всего, ферментов, содержащих атомы металлов в составе простетических групп) они составляют все же лишь небольшую часть биологических систем.

Другая группа веществ, обладающих парамагнитными свойствами, — это свободные радикалы, образующиеся в биологических тканях при воздействии на них ионизирующих излучений и в ходе некоторых химических реакций в биологических системах — например, при перекисном окислении липидов и других процессах, инициируемых активными формами кислорода. С изучением образования и метаболизма активных форм кислорода в живых клетках и с выяснением их биологической роли в организмах



Лев Александрович Блюменфельд (1921—2002).

(как одноклеточных, так и многоклеточных) связаны самые удивительные открытия последних лет в биологии.

В ходе многих ферментативных реакций свободные радикалы возникают как промежуточные продукты. Обычно они живут недолго, поэтому их исследование часто сопряжено либо с использованием тех или иных спиновых ловушек, либо с применением методов ЭПР с высоким временным разрешением. Один из примеров успешного использования импульсных методов ЭПР-спектроскопии — изучение первичных процессов фотоиндуцированного переноса электрона в ходе фотосинтеза.

Спиновые зонды

Тем не менее большой круг биологических систем, не обладающих парамагнитными свойствами, остается недоступен для метода ЭПР. Расширить сферу его применений позволяют *спиновые зонды*, или *спиновые метки*, которые вводят в исследуемую систему. Это молекулы или молекулярные фрагменты со стабильным неспаренным электроном, спектр ЭПР которых зависит от интересующих исследователя свойств системы. Термин «спиновая метка», как правило, относят к парамагнитным молекулярным фрагментам, ковалентно «пришитым» к какой-либо из «натуральных» молекул изучаемой системы. Спиновыми зондами чаще называют свободные парамагнитные молекулы, добавленные в биологическую систему. Метод спиновых меток (зондов) возник и получил развитие благодаря работам А.Б.Неймана, А.Л.Бучаченко, А.Н.Кузнецова, Г.И.Лихтенштейна, Х.Мак-Коннелла и др.

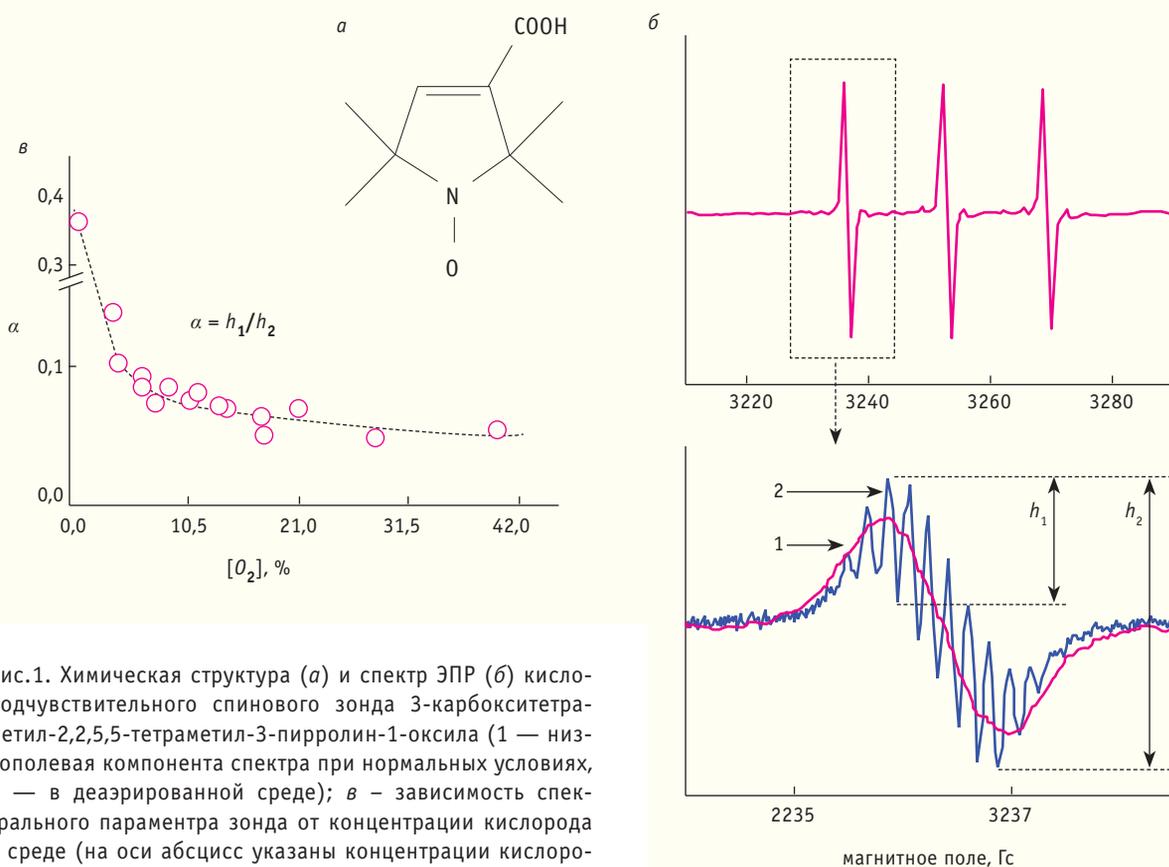


Рис.1. Химическая структура (а) и спектр ЭПР (б) кислородчувствительного спинового зонда 3-карбокситетраметил-2,2,5,5-тетраметил-3-пирролин-1-оксида (1 — низкочеловеческая компонента спектра при нормальных условиях, 2 — в деаэрированной среде); в — зависимость спектрального параметра зонда от концентрации кислорода в среде (на оси абсцисс указаны концентрации кислорода в среде, соответствующие его содержанию в воздухе, уравновешенном с раствором зонда).

Парамагнитные фрагменты спиновых меток могут иметь различную химическую природу. Часто используют так называемые *нитроксильные радикалы*, в которых *группа* ($>N-O^*$) содержит нечетное число электронов (семь электронов атома азота и восемь — кислорода) и обладает нескомпенсированным парамагнитным моментом (одноэлектронное восстановление или окисление молекулы зонда приводит к потере парамагнитных свойств молекулы). В спектре ЭПР нитроксильных радикалов обычно хорошо заметна так называемая *сверхтонкая структура*, возникающая за счет взаимодействия неспаренного электрона с ядром азота; она «размывается» при высоких концентрациях метки и очень чувствительна к вязкости ее микроокружения. Это позволило изучить с помощью спиновых меток физические структурные перестройки макромолекул, свойства биологических мембран и др. Большая заслуга в развитии применений спиновых меток при изучении фотосинтеза принадлежит ученику Блюменфельда А.Н.Тихонову*.

* Автор пользуется случаем выразить глубокую благодарность Учителю, Александру Николаевичу Тихонову, за счастливую возможность многолетней совместной работы, в результате которой и появилась эта статья.

Среди множества применений спиновых меток остановимся на двух — на решении задач окси- и рН-метрии. Во многих биологических исследованиях необходимо измерять содержание кислорода в среде. Взаимодействие этого парамагнитного вещества с молекулами спиновых зондов приводит к уширению линии в спектре ЭПР-зонда. Чем выше концентрация кислорода в среде, тем чаще его молекулы сталкиваются с молекулами зонда, тем заметнее увеличивается ширина спектральных линий, которая и служит оценкой содержания кислорода в среде.

В клетках аэробных организмов кислород участвует в главных энергетических процессах: в дыхании и в фотосинтезе (при так называемом *оксигенном* фотосинтезе, характерном для цианобактерий и зеленых растений). Для дыхания кислород необходим как реагент, а в ходе фотосинтеза он образуется как побочный продукт при окислении воды, которая служит источником электронов для восстановления атмосферного углекислого газа до органических соединений. Тем не менее кислород необходим и в реакциях фотосинтеза. Проследить за его участием в них можно с помощью метода ЭПР. Он позволяет одновременно наблюдать за переносом электро-

нов в фотосинтетических мембранах и за изменениями концентрации кислорода в среде. Для этих исследований мы использовали кислород-чувствительный спиновый зонд (рис.1,а). Сверхтонкая структура спектральных линий этого зонда разрешается лишь в деаэрированной среде (рис.1,б). В данном случае это позволило контролировать газообмен клеток в условиях, практически недоступных для применения других методов измерения содержания кислорода в среде [17].

Не менее часто спиновые зонды применяют в качестве рН-индикаторов. Они незаменимы при изучении таких микроскопических объектов, как клеточные органеллы. Если для целых клеток, в принципе, еще можно использовать микроэлектродную технику, то субклеточные компартменты уже слишком малы. В то же время именно в таких микрообъемах часто необходимо знать об изменениях рН в ходе физиологических процессов. Так, долгое время один из ключевых вопросов в энергетике фотосинтеза был связан с величиной ΔpH , возникающей на мембране тилакоидов — замкнутых образований внутри хлоропластов [18, 19]. Ранние оценки этой величины давали заметно завышенное значение — от трех до четырех и более единиц рН. Лишь работы последних 10—15 лет, в немалой степени благодаря рН-спиновым зондам, показали, что эта разность рН составляет всего около двух единиц.

Каким же образом спиновые зонды могут служить индикаторами рН? Здесь возможны разные подходы. Один из них основан на перераспределении молекул зонда между клеточными компартментами при изменении их рН (рис.2). Способность молекулы зонда протонироваться при определенных рН (в совокупности с различной проницаемостью мембраны для ее протонированной и депротонированной форм) обеспечивает при закислении какого-либо компартмента (в наших опытах тилакоиды) накопление в нем молекул зонда. При этом количество их связано с величиной трансмембранной разности рН. Определить ее можно различными методами, в том числе добавляя в среду парамагнитные соли, не проникающие через мембрану внутрь тилакоидов. Их взаимодействие с молекулами зонда существенно увеличивает ширину (и, соответственно, уменьшает величину) спектральных линий основной («внешней») фракции зонда. На этом фоне становятся различимы узкие линии спектра относительно небольшой доли молекул зонда, локализованных в тилакоидах. По величине неизмененных спектральных линий внутри-тилакоидной фракции можно определить количество поглощенных молекул, а следовательно, и трансмембранную разность рН.

Для определения количества поглощенного тилакоидами зонда используют также и другой метод, основанный на *концентрационном уши-*

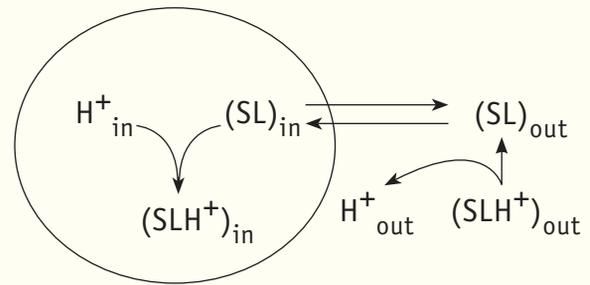


Рис.2. Схема, иллюстрирующая накопление молекул спинового зонда в тилакоидах при закислении среды в ходе световых реакций фотосинтеза. SL — нейтральная депротонированная форма молекулы спинового зонда (spin label), SLH⁺ — положительно заряженная протонированная форма молекулы. Индексы in и out обозначают молекулы, принадлежащие внутритилакоидной (in) и внешней (out) фракциям зонда. Проницаемость мембраны для заряженной формы зонда значительно ниже, чем для нейтральной.

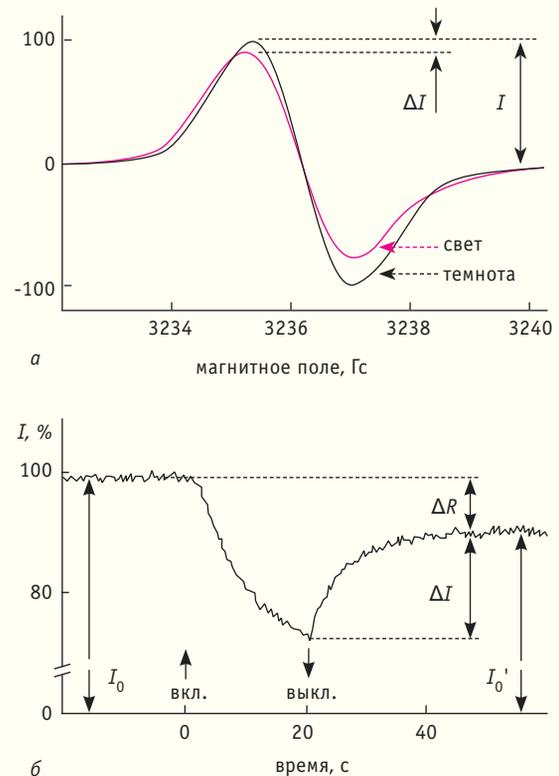


Рис.3. Фотоиндуцированные изменения спектра ЭПР спинового зонда в суспензии хлоропластов. Вертикальными стрелками показаны моменты включения и выключения света.

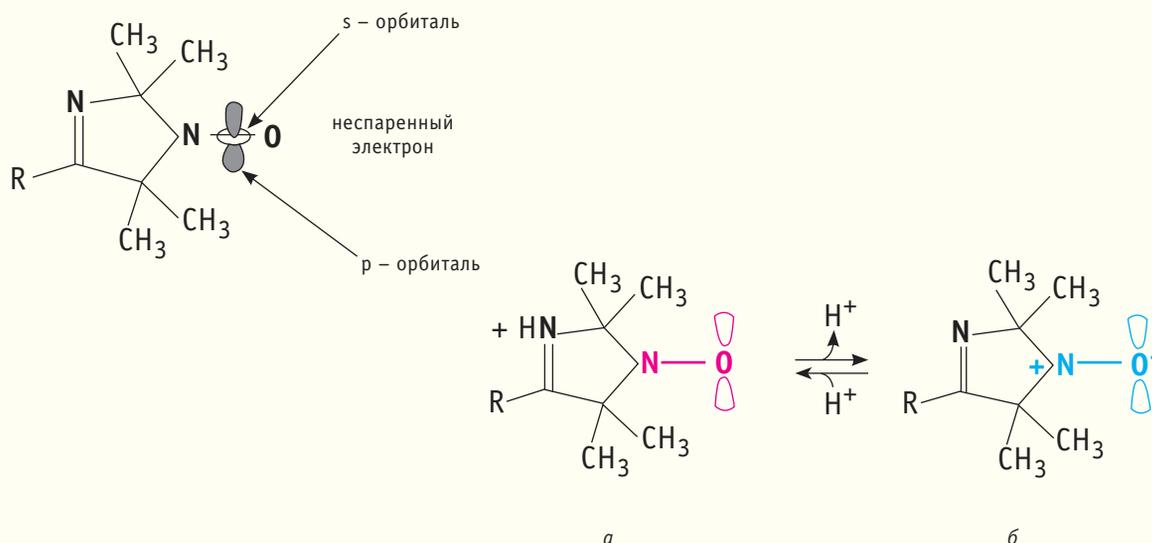


Рис.4. Химическое строение pH-чувствительного спинового зонда. *а* и *б* — две валентные структуры нитроксильного радикала. Показано, как протонирование атома азота в третьем положении имидазолинового кольца влияет на локализацию неспаренного электрона. (Из [20], с изменениями.)

рени спектра ЭПР. Оно заключается в том, что с ростом концентрации парамагнитных молекул в среде увеличивается ширина спектральных линий ЭПР и одновременно снижается их величина. На свету, при закислении внутреннего пространства тилакоидов, концентрация зонда внутри них оказывается много большей, чем в окружающей среде, и более широкий спектр внутритилакоидной фракции зонда будет давать меньший вклад в общую величину сигнала ЭПР. В итоге при освещении суспензии хлоропластов, в которую добавлен спиновый зонд, его сигнал ЭПР обрати-

мо уменьшается (рис.3). Уменьшение сигнала (ΔI) зависит от трансмембранной разности pH на мембране тилакоида и, следовательно, может служить для ее определения [18].

Другой подход в применении спиновых зондов для внутриклеточного измерения pH основан непосредственно на измерении характеристик спектров ЭПР, чувствительных к pH среды. Поиск соединений, обладающих pH-чувствительными спектральными характеристиками, химически устойчивых в живых системах и при этом не токсичных для них, — задача непростая. Чувстви-

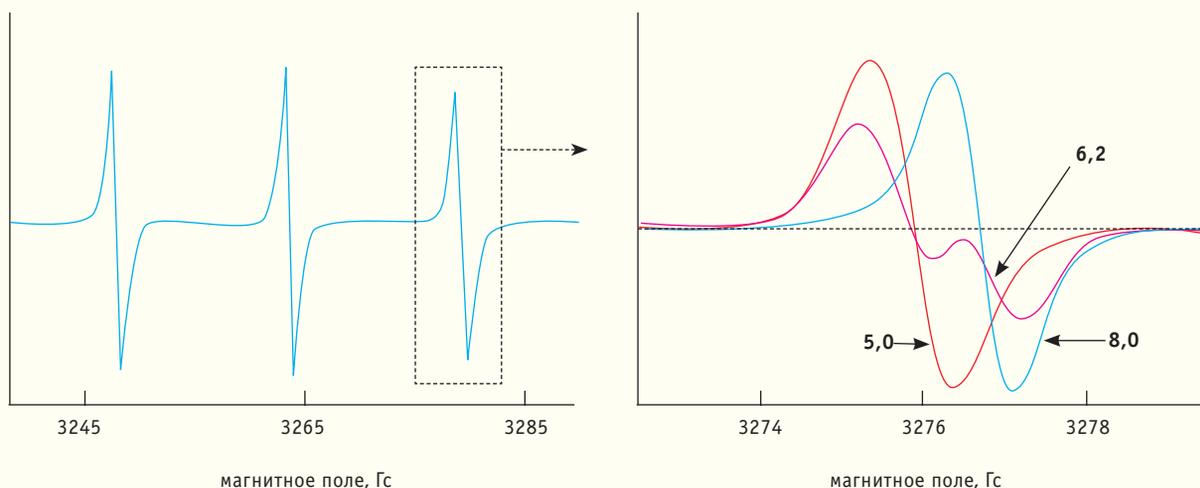


Рис.5. Спектр ЭПР pH-чувствительного спинового зонда при разных значениях pH. Числа вблизи спектральных линий показывают величину pH в среде, соответствующую данному спектру.

тельность спектров ЭПР таких зондов к рН основана на взаимодействии их протонируемой группы и свободнорадикального фрагмента. Неспаренный электрон в молекуле зонда локализован преимущественно между атомами азота и кислорода нитроксильной группы (рис.4). Протонирование атома азота в третьем положении имидазольного кольца за счет электростатического взаимодействия приводит к перераспределению плотности неспаренного электрона. Смещение электронной плотности в сторону атома азота увеличивает интенсивность магнитного взаимодействия его ядра с электроном и «раздвигает» компоненты сверхтонкого расщепления в спектре ЭПР. Смещение электронной плотности в сторону кислорода, наоборот, ослабляет сверхтонкое взаимодействие электрона с ядром азота, и расстояние между спектральными компонентами уменьшается (рис.5). В последние годы целый ряд новых рН-чувствительных спиновых зон-

дов синтезирован в Новосибирском институте органической химии им.Н.Н.Ворожцова СО РАН группой И.А.Григорьева. Эти зонды позволили изучать образование трансмембранной ΔрН, возникающей на тилакоидной мембране хлоропластов высших растений в разных физиологических состояниях.

* * *

Явление электронного парамагнитного резонанса, открытое в середине XX в. в области соприкосновения нескольких «горячих точек» физики того времени — радиофизики, квантовой физики, физики атома и атомного ядра, — дало науке новый мощный метод исследования. В биологию этот метод вошел полвека назад, что заметно способствовало ее развитию и принесло существенные плоды. ■

Литература

1. *Альциулер С.А., Завойский Е.К., Козырев Б.М.* Новый метод исследования парамагнитной абсорбции // ЖЭТФ. 1944. Т.14. №10/11. С.407—409.
2. *Завойская Н.Е.* История одного открытия. М., 2007.
3. *Альциулер С.А., Козырев Б.М.* К истории открытия электронного парамагнитного резонанса // Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е.К.Завойском. М., 1993. С.12—17.
4. *Завойский Е.К.* К вопросу об истории развития магнитной радиоспектроскопии // Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е.К.Завойском. М., 1993. С.209—212.
5. *Gorter C.J.* Negative result of an attempt to detect nuclear magnetic spins // Physica. 1936. V.III. №9. P.995—998.
6. *Альциулер С.А.* О жизни и научной деятельности академика Е.К.Завойского // Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е.К.Завойском. М., 1993. С.5—11.
7. *Силкин И.И.* Евгений Константинович Завойский: док. хроника научной и педагогической деятельности в Казанском университете. Казань, 2007.
8. *Завойский Е.К.* Очерк истории ЭПР // Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е.К.Завойском. М., 1993. С.222—224.
9. *Блюменфельд Л.А., Воеводский В.В., Семенов А.Г.* Применение электронного парамагнитного резонанса в химии. Новосибирск, 1962.
10. Парамагнитный резонанс: Сб. статей / Под ред. А.В. Митина. М., 1974.
11. *Блюменфельд Л.А., Калмансон А.Э.* Спектры электронного парамагнитного резонанса биологических объектов. 1. Действие ионизирующего излучения на сухие препараты аминокислот, пептидов, белков и лиофилизированных тканей // Биофизика. 1957. Т.2. Вып.5. С.552—565.
12. *Самойлова О.П., Блюменфельд Л.А.* Изменение магнитных свойств культуры дрожжей в процессах роста и деления // Биофизика. 1961. Т.6. Вып.1. С.15—19.
13. *Berliner L.J.* In Vivo EPR (ESR): Theory and Applications, in Biological Magnetic Resonance. V.18. NY, 2003.
14. *Блюменфельд Л.А., Тихонов А.Н.* Электронный парамагнитный резонанс // Соросовский образовательный журнал. 1997. №9. С.91—99.
15. *Ванин А.Ф.* Оксид азота — регулятор клеточного метаболизма // Соросовский образовательный журнал. 2001. №11. С.7—12.
16. *Абрагам А., Блيني Б.* Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т.1. Мир, 1972.
17. *Trubitsin B.V., Ptushenko V.V., Koksbarova O.A. et al.* EPR study of electron transport in the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803. Oxygen-dependent interrelations between photosynthetic and respiratory electron transport chains // BBA. 2005. V.1708. P.238—249.
18. *Trubitsin B.V., Tikhonov A.N.* Determination of a transmembrane pH difference in chloroplasts with a spin label Tempamine // J. Magn. Reson. 2003. V.163. P.257—269.
19. *Tikhonov A.N., Agafonov R.V., Grigor'ev I.A. et al.* Spin-probes designed for measuring the intrathylakoid pH in chloroplasts // BBA — bioenergetics. 2008. V.1777. P.285—294.
20. *Тихонов А.Н.* Спиновые метки // Соросовский образовательный журнал. 1998. №1. С.8—15.

Природные катастрофы и революции в религиях

Ю.И.Блох

Складывается впечатление, что чуть ли не ежедневно наш современник узнает об очередном мощном землетрясении, активизации вулканов, климатических рекордах, сопровождающихся в одних районах засухами и пожарами, а в других — наводнениями, о появлении неведомых ранее болезней и о других событиях, которые укладываются в печатные рубрики типа «Природа безумствует». При этом у него неминуемо возникают вопросы: бывали ли подобные концентрации природных катаклизмов в прошлом, а если бывали, то когда, — и скоро ли завершились. Ученые доказали, что периоды природной нестабильности бывали неоднократно, но какова их природа и существует ли закономерность в их повторениях — до сих пор не ясно. Для прояснения этих животрепещущих вопросов требуется более тесное объединение усилий специалистов разных областей. Особый разговор об историках религий. Дело в том, что именно к временам концентрации природных катастроф было приурочено большинство кардинальных религиозно-мировоззренческих изменений в жизни человечества.

Читатель, конечно, может возразить, сказав, что религиозные изменения происходят практически непрерывно, и в значительной степени будет прав. Действительно, в рамках всех



Юрий Исаевич Блох, доктор физико-математических наук, профессор. Область научных интересов — геофизика, обратные задачи, автоматизированные системы интерпретации геофизической информации, история наук о Земле.

религий часто возникают группы лиц, распространяющих собственные идеи, в той или иной мере противоречащие традиционным воззрениям, но речь идет об основных религиях, которые живут веками и которые исповедуют миллионы людей. Возникновение и наиболее существенные преобразования в них по времени совпадают с периодами, когда «природа безумствует». В такие времена люди, теряющие надежды на помощь своих богов, в которых они верили ранее, склонны добровольно и в массовом порядке примыкать к новым религиозным движениям. Иногда, правда, изменения инспирируются политическими деятелями — вспомним хотя бы историю крещения Руси или деятельность римского императора Константина и его матери Елены, — но эти случаи всегда относительно локальны и не отличаются мирным характером. Нас же интересуют массовые религиозные революции, которые происходят почти од-

новременно в разных странах и на разных континентах, причем примерно через одинаковые промежутки времени.

Справедливости ради следует упомянуть о том, что цикличность возникновения религий подмечали и ранее, но рассматривали ее вне связи с реальными природными катаклизмами и преимущественно на астрологических основаниях, ссылаясь на существование сокровенного, но известного «посвященным» с незапамятных времен цикла под названием Нарос (или Нерос) [1].

Рассмотрим утверждения астрологов подробнее и обратимся к их постоянно цитируемому источнику: вышедшей в 1947 г. и с тех пор многократно переиздававшейся на разных языках «Астрологической энциклопедии» Николаса Девора. В ней подчеркивается, что Нарос «можно рассматривать как цикл преобладания Юпитера-Нептуна, связанный... с религией и философией. Нептун указывает на мис-

тический аспект: откровение высшей универсальной и мистической истины через какого-либо великого духовного учителя. Юпитер представляет это откровение на уровне социальных институтов в виде организованной религии и установленных ритуалов... Эти вехи Нароса отмечены следующими историческими датами:

576 г. до н.э. Рождение Будды (буддизм), Махавиры (джайнизм), Пифагора и деятельность Лао-цзы (даосизм).

25 г. н.э. Миссия Христа (христианство).

625 г. Хиджра Мухаммада (магометанство).

1225 г. Св. Франциск (оживление католицизма).

1825 г. Рождение Баба и Бахауллы (основателей бахаизма) и Мэри Бэйкер Эдди (христианская наука)» [2].

Приведенный список Дево-ра ярко демонстрирует, что его автор настолько стремился про-извести впечатление абсолютно жесткой цикличностью, привязанной к астрономическим событиям, что готов был прене-брегать точностью воспроиз-водимых дат. Хиджра (бегство Мухаммада от преследователей из Мекки в Медину) произошла не в 625 г., как утверждает Н.Девор, а в 622 г., Баб (Сейид Али Мухаммад Ширази) родился в 1819 г., Бахаулла (Мирза Хусейн Али) — в 1817 г., а Мэри Бэйкер Эдди — в 1821 г. Почему в жизни Франциска Ассизского (1182—1226) избран именно 1225 г. и почему вообще он включен в дан-ный список наряду с Иисусом, Буддой и Мухаммадом, остается только гадать. Видимо, у Дево-ра просто не нашлось подходя-щей кандидатуры на роль столь «великого духовного учителя» для 1225 г., как, впрочем, и для 1825 г. Отнесение же Будды, Махавиры, Пифагора и Лао-цзы к одному и тому же году вы-глядит вообще чистым волюнтаризмом.

Тем не менее в списке Дево-ра, да и в других подобных спи-сках астрологов и нумерологов,

чувствуется некая подспудная истина, но для ее прояснения требуется системная проработка, охватывающая известную историю развития человечества без искусственных ограничений временных рамок. При этом, конечно, следует избегать априорной привязанности к Наросу и присущего методологии астрологии безудержного стремления к параллельному выделению множества циклов с близкими периодами. Например, в той же «Энциклопедии» Девора среди прочего обсуждается работа Э.Хантингтона из Йельского университета, который «указывает на существование в миграциях людей циклов примерно в 640 лет». Девор поддерживает выделение такого цикла, но связывает его не с «преобладанием Юпитера-Нептуна», не с Наросом, а с «сидерическим периодом планеты, следующей за Плутоном». Иначе говоря, 40-летнее различие в периодах кажется ему для рассматриваемых процессов столь значимым, что для его объяснения он готов привлечь даже абсолютно мифическую планету. На самом деле близкие по оценкам периоды циклы могут оказываться проявлениями одного и того же природного процесса, но не имеющего столь жесткой цикличности, чтобы ее период мог фиксироваться с точностью до года.

В настоящей статье мы попытаемся показать, что параллельный анализ кардинальных религиозно-мировоззренческих изменений в жизни человечества и наиболее масштабных природных катастроф указывает скорее не на 600-летний Нарос, а на существование примерно 700-летнего цикла. Автор весьма далек от мысли, что ему удалось окончательно выявить искомые закономерности, но надеется, что проведенный анализ поможет усилить междисциплинарные связи, способные помочь этому. Объем информации, который надо вовлечь в анализ, велик, и рамки статьи

не позволяют излагать все систематично, приводя исчерпывающие доказательства и многочисленные ссылки, за что автор заранее просит не судить его чересчур строго. Рассмотрение узловых веков начнем с 3-го тысячелетия до н.э., поскольку для более ранних периодов человеческой истории требуемой информации и достаточно точной датировки событий, увы, практически нет.

* * *

XXIX—XXVIII вв. до н.э. Здесь удается распознать события, характерные для времен религиозных революций, и наиболее достоверным среди них представляется введение древнеегипетского так называемого «светского» 365-дневного календаря. Заметим, что практически все бытующие календари так или иначе привязаны к временам религиозных революций и отсчитываются от неких событий в жизни их лидеров: Рождество Христово, Хиджра и т.п. Египтологи полагают, что 365-дневный древнеегипетский календарь был введен в 2781 г. до н.э., и точность этой датировки из-за привязки данного события к астрономическим данным следует считать для тех времен непревзойденной: Патрик О'Мара, исследовавший все детали, в итоге пришел к выводу, что это произошло в интервале с 2766 по 2782 г. до н.э. Религиозными лидерами египтян тогда стали жрецы расположенного на территории современного Каира города Иуну (библейский Он), который греки называли Гелиополем (городом Солнца). Жрецы создали основы государственной религии и разработали план, который воплощался в течение нескольких веков и привел, в частности, к построению колоссальных пирамид. История сохранила даже имя самого выдающегося из гелиопольских жрецов — Имхотепа, который

позже стал главным визирем у фараона Джосера и построил для него первую ступенчатую пирамиду в Саккара.

Что же предшествовало этой религиозной революции? Вспомним, что легенды разных стран указывают на произошедший примерно в XXVIII в. до н.э. потоп (кстати, по-гречески катаклизм — потоп, наводнение), который уничтожил большую часть человечества. Наиболее известна в этом плане шумерская легенда, легшая позже в основу библейской истории о Всемирном потопе. Эта легенда изложена, в частности, в сохранившемся на глиняных табличках эпосе о Гильгамеше и упоминает пережившего потоп шумерского Ноя. По-шумерски его имя — Зиусудра, то есть «жизнь (на) долгие дни», а аккадцы, дословно переводя смысл имени на свой язык, именовали его Утнапишти. Следы катастрофических наводнений в Месопотамии — не одного, а нескольких — были найдены археологами во время раскопок, причем одно из них датировалось как раз 28-м столетием до н.э. На то же время по греческой версии приходится Девкалионов потоп: знаменитый древнегреческий поэт Пиндар в девятой Олимпийской оде описал историю сына Прометея по имени Девкалион и его жены Пирры, переживших этот потоп. Любопытно отметить, что писавший по-гречески сириец Лукиан отмечал, что потоп произошел во времена «Девкалиона, прозванного Сиситесом» [3], а это имя, как считают историки и филологи, непосредственно восходит к шумерскому Зиусудра.

На тот же период как на время грандиозного потопа указывают и китайские мифы. Начало 3-го тысячелетия до н.э. считается временем зарождения древнекитайской цивилизации, легендарной эпохой Сань Хуан («трех властителей»), первым из которых называется первопредок Фуси. Традиционная конфуцианская историография утверж-

дает, что он правил с 2852 по 2737 г. до н.э., но к этому стоит относиться осторожно. Дело в том, что Конфуцием и его учениками древние предания о богах и злых духах решительно отвергались, и позднее, когда конфуцианская идеология стала в Китае господствующей, мифы постепенно стали рассматриваться как история. Тем не менее истоки мифов, веками сохранявшихся в устном предании китайцев, вполне могли возникнуть именно в это время, на что указывают данные археологии, в частности, относящиеся к обнаруженной в бассейне р.Хуанхэ группе неолитических культур, известной под общим названием Яншао. Согласно преданиям народностей Юго-Западного Китая — яо и мяо, сестрой Фуси была Нюйва, и они, будучи детьми, смогли спастись от потопа, уничтожившего человечество, в огромной тыкве-горлянке. Позже Нюйва стала женой Фуси, и им удалось восстановить человеческий род.

Мы упомянули лишь самые известные мифы о потопе, но в действительности число их огромно и анализировали их многие, а наиболее серьезное из подобных исследований сравнительно недавно провел американец Б.Массе из Национальной лаборатории в Лос-Аламосе. Он рассмотрел мифы 175 различных культурных групп, отметив, что они составляют около 15% мифов о потопах, опубликованных на английском языке. Массе, в частности, обнаружил, что многие из них, в том числе индийские и перуанские, указывают на то, что перед потопом пять видимых невооруженным глазом планет сблизались и выровнялись в линию, а сам потоп сопровождался солнечным и лунным затмениями. Такое сочетание астрономических событий крайне редко и может быть датировано путем компьютерного моделирования. Расчеты, проведенные в Лос-Аламосе, показали, что «парад» пяти планет имел место 7 февра-

ля 2807 г. до н.э., 25 апреля того же года было полное солнечное затмение, а 10 мая — частичное лунное. В итоге Массе сделал вывод, что в мае–июне 2807 г. до н.э. в район Индийского океана упала комета диаметром в несколько километров, в результате чего возникло мегацунами. Примерно через 1,5 ч огромные волны достигли Мадагаскара, а еще через несколько часов затопили побережья Индии, Австралии и даже Южной Америки. Поскольку мощный взрыв, сопровождавший падение кометы, испарил огромные водяные массы, они позже начали выпадать в виде многодневного дождя, затопившего даже удаленные от побережья территории. Все это и породило основные мифы о потопе и религиозные революции [4].

Первые подтверждения гипотезы Массе получила достаточно быстро: выяснилось, что в 1500 км к юго-востоку от Мадагаскара находится подводный кратер диаметром 29 км, который назвали Бёркл. Более того, в разных регионах, прежде всего на самом Мадагаскаре, были обнаружены следы гигантских волн, проникших на десятки километров в глубь острова — это так называемые шевронные дюны, которые четко видны на космических фотоснимках. Их силуэт указывает на то, что они могли быть образованы гигантской волной. Возраст дюн, по предварительным данным, отвечает гипотезе Массе. В настоящее время изучение шевронных дюн развернуто весьма широко, и по этой проблематике работают специалисты многих стран, в том числе наши соотечественники из Новосибирска — исследователи цунами под руководством В.К.Гусякова.

XXII–XX вв. до н.э. Группа ученых во главе с Л.Томпсоном, изучив образцы льда из скважин, пробуренных в ледниках на горе Килиманджаро, пришла к выводу, что XXI в. до н.э. — один из самых засушливых периодов в Северной Африке. Пик



Космический снимок шевронной дюны в заливе Фенамбоси (Мадагаскар), которая возникла в результате мегацунами. Максимальная высота дюны 205 м, распространение в глубь суши до 35 км.

потепления пришелся, по их данным, примерно на 2020 г. до н.э., что подтверждается исторически зафиксированными глобальными засухой и голодом, приведшими к падению ряда цивилизаций и многочисленным миграциям. Этот период отмечен религиозными революциями, среди которых одной из наиболее значительных, видимо, можно считать египетскую. Тогда жрецы Гелиополя потеряли свое влияние, а религиозный и политический центр Египта переместился в Фивы (нынешний Луксор), где началось активное строительство знаменитого Карнакского храма.

Следует признать, что точность хронологической привязки событий тех времен невысока. К примеру, приход к власти Ур-Намму — основателя III династии Ура в Шумере — традиционно относят к 2111 г. до н.э., но некоторые историки настаивают на существенно более поздней дате — 1900 г. до н.э. А ведь именно ко времени его правления относится начало возведе-

ния первого огромного месопотамского зиккурата — ступенчатой пирамиды, явившейся прообразом мифа о Вавилонской башне. Это событие выглядит типичным отражением религиозной революции, проходившей тогда в Месопотамии.

Столь же неточно установлено время жизни мигрировавшего из Ура патриарха Авраама, который традиционно считается первым евреем и основоположником монотеизма. Мусульма-

не, именующие его Ибрахимом и почитающие как отца арабов, относят его жизнь к XXI в. до н.э. и считают, что именно тогда он нашел в Мекке место, где когда-то Адам впервые построил Каабу, которая впоследствии была разрушена потопом, и восстановил храм. Современные историки смещают события, связанные с ним, на более позднее время — примерно на 1900—1800 гг. до н.э. На тот же период указывает и еврейская тради-



Зиккурат в Уре. Ирак.



Южный ледник на горе Килиманджаро. Ледники, как и деревья в годичных кольцах, хранят в своих слоях информацию об изменениях климата, происходящих за время их роста.

Фото А.Редько (<http://redkosasha.blogspot.com>)

дия — согласно апокрифической «Книге Юбилеев», «...в тридцать девятый юбилей, во вторую седмину, в первый год, взял себе Фараг жену по имени Една, дочь Арема, сестрину дочь его отца, себе в жены. И в седьмой год этой седмины она родила сына, и он нарек ему имя Аврам...» [5]. Несложные расчеты показывают, что годом рождения патриарха по этому указанию является 1836 г. до н.э. [3761 – (39 x 49 + 14) = 1836]. Здесь принято во внимание, что традиционный лунно-солнечный древнееврейский календарь начинается от «Сотворения мира» 7 октября 3761 г. до н.э. Так или иначе, легенды Библии и Корана утверждают, что основные тогдашние события на протяжении долгого времени были вызваны засухой, голодом и необходимостью миграции, что совпадает с информацией климатологов.

XV–XIV вв. до н.э. По данным, полученным при изучении ледников Гренландии, с 1450 по 1300 г. до н.э. проходил так называемый минойский период потепления. Он ознаменован несколькими религиозными революциями в разных частях света и многочисленными переселениями народов.

Одна из самых известных миграций того периода — Исход евреев из Египта, которому предшествовала серия катастроф, известных как «казни египетские». Во время Исхода его руководитель Моисей создал основы иудаизма, легшие в основу Библии. Историки ведут многовековую полемику по поводу даты Исхода, помещая его в интервал от начала 15-го до середины 13-го столетия до н.э. В процессе этой полемики Иммануил Великовский в знаменитой книге «Века в хаосе» при-

вел результаты оригинального анализа общеизвестных исторических фактов и пришел к выводу, что традиционная египетская хронология необоснованно растянута во времени. По Великовскому, Исход состоялся в 1495 г. до н.э. во время катастроф, вызванных сближением с Землей огромной кометы. При обосновании датировки он ссылался на труды знаменитого польского астронома XVII в. Яна Гевелия и на содержащиеся в них сведения более древних авторов. Призывы Великовского к радикальному пересмотру хронологии поначалу были восприняты историками как ересь, но в дальнейшем кое-кто из них начал всерьез задумываться над его аргументами и более детально анализировать имеющуюся информацию. К настоящему времени это привело международную группу

исследователей во главе с профессором археологии Д.Ролом к серьезным достижениям, позволившим в значительной степени увязать воедино основные исторические, библейские, археологические, астрономические и прочие данные. Согласно этим данным, Моисей родился около 1530 г. до н.э., а Исход начался в 1447 г. до н.э. Полемику это, конечно же, не затормозило.

К началу XIV в. до н.э. традиционная хронология относит правление фараона Эхнатона, проведенную им религиозную революцию, введение единого бога Атона и перенесение столицы Египта во вновь построенный город Ахетатон (Эль-Амарна). После смерти Эхнатона в середине XIV в. до н.э., полагают историки-традиционалисты, культ Атона был запрещен, а столица возвращена в Фивы. Зачастую революция Эхнатона именуется даже первой попыткой введения монотеизма, однако реформаторы относят время жизни Эхнатона на несколько веков ближе к нам. Рол утверждает, что Эхнатон правил с 1023 по 1007 г. до н.э., т.е. был современником израильских царей Саула и Давида, а его революция была откликом на хорошо известный ему иудаизм. Интересно отметить, что данные радиоуглеродного анализа артефактов из могилы одного из наследников Эхнатона — Тутанхамона, обычно замалчиваемые традиционалистами, относятся к IX в. до н.э. и тем самым подтверждают значительно более молодой возраст реформ Эхнатона.

Еще одна известная миграция того периода — вторжение в северо-западную Индию народа, известного как арийцы (арии). Тогда сформировались основы ведической религии, зафиксированной в четырех Ведах: Ригведе, Самаведе, Яджурведе и Атхарваведе. О времени создания Вед мнения также сильно расходятся. С.Радхакришнан в капитальном труде «Индийская философия» написал: «Мы полагаем, что они возникли в XV в. до н.э.,

и надеемся, что эта дата не встретит возражений как очень ранняя» [6]. Автор труда заметил, что кое-кто относит возникновение Вед к 5-му тысячелетию до н.э. Британский историк Г.Чайлд в книге «Арийцы» утверждал: «Ригведа была создана вскоре после 1400 года до н.э., и вторжение ариев в Индию относится примерно к тому же времени» [7]. Историко-астрономические исследования последних лет, похоже, подтверждают мнение Чайлда. Наиболее серьезное из таких исследований было выполнено сотрудником НАСА С.Балакришной, выходцем из семьи, исповедующей ведическую религию, и внуком одного из известнейших ее знатоков. Предметом его исследований была Джйотиша-веданга — астрологический справочник, предназначенный главным образом для определения жрецами времени проведения ведических ритуалов, который в незапамятные времена составил махатма (мудрец) Лагадха. Джйотиша-веданга, в частности, содержит описание положения Солнца на звездном небе в дни равноденствий и солнцестояний, которые позволили благодаря современным возможностям учета так называемой прецессии равноденствий достаточно точно датировать написание справочника около 1373 г. до н.э.

На американском континенте в ту эпоху начала формироваться цивилизация ольмеков, появились первые города и был введен древнейший календарь — цолькин. Интереснейшие исследования провел профессор географии Дартмутского колледжа В.Мальмстрём, их результаты изложены в монографии «Циклы Солнца, мистерии Луны: календарь в мезоамериканской цивилизации» [8]. По Мальмстрёму, 260-дневный священный календарь цолькин был введен в действие 13 августа 1359 г. до н.э. в Исапе — древнем городище, расположенном неподалеку от тихоокеанского побережья на границе Мексики и Гватемалы.

Именно в Исапе интервал между двумя полуденными прохождениями Солнца в зените составляет 260 сут. Другими словами, Солнце находится там строго в зените, а тени от вертикальных предметов исчезают в полдень 13 августа и 30 апреля (интервал 260 дней), причем 30 апреля — это начало сезона дождей, а 13 августа — период созревания урожая. Мальмстрём убедительно показал, что на протяжении последующих тысячелетий строительства новых поселений по всей Мезоамерике индейцы стремились подбирать такие места, чтобы они максимально воспроизводили особенности системы ориентиров, свойственных Исапе. Многие индейские племена до сих пор почитают 13 августа как начальную дату календаря.

VIII—VI вв. до н.э. Тогда Земля испытала самые большие за последние 8 тыс. лет потрясения своего магнитного поля, которые длились более 100 лет. Это событие, называемое геофизиками экскурсом, было выявлено Дж.Фольгерайтером в конце XIX в. при изучении остаточной намагниченности этрусских ваз, благодаря чему данный экскурс получил название Этруссия (Этрурия). Дальнейшие исследования, проведенные в разных регионах, подтвердили, что в VIII—VI вв. до н.э. магнитные полюса планеты смещались настолько далеко, что почти поменялись местами, но позже вернулись практически на исходные позиции. Климатологами установлены значительные погодные аномалии того периода. Во время экскурса фаза похолодания на Земле сменилась потеплением, а ослабление магнитосферы повлекло за собой резкое усиление проникающего к земной поверхности космического излучения, что привело к массовым радиационным мутациям всего живого. Период катастроф в этой узловых эпохе был более длительным, соответственно, и период религиозно-мировоззрен-



Статуя Будды в нирване. Кушинагар. Индия.

ческих изменений оказался более продолжительным. Историки вслед за К.Ясперсом именуют данную эпоху «осевым временем» и относят к 800—200 гг. до н.э.

Главной из тогдашних революций стало возникновение первой из поистине мировых религий — буддизма, который ныне исповедуют более 300 млн человек. Как утверждает традиция буддистов Шри Ланки, его основатель Сиддхартха Гаутама (Будда Шакьямуни), происходивший из индийского аристократического рода Шакья, появился на свет в 623 г. до н.э. и перешел в паринирвану в 544 г. до н.э. Именно эта датировка была принята ЮНЕСКО, и в 1956 г. весь мир отметил 2500-летие буддизма. Другие буддисты, тем не менее, относят паринирвану к 486 г. до н.э., а некоторые историки сдвигают даже к 400 г. до н.э.

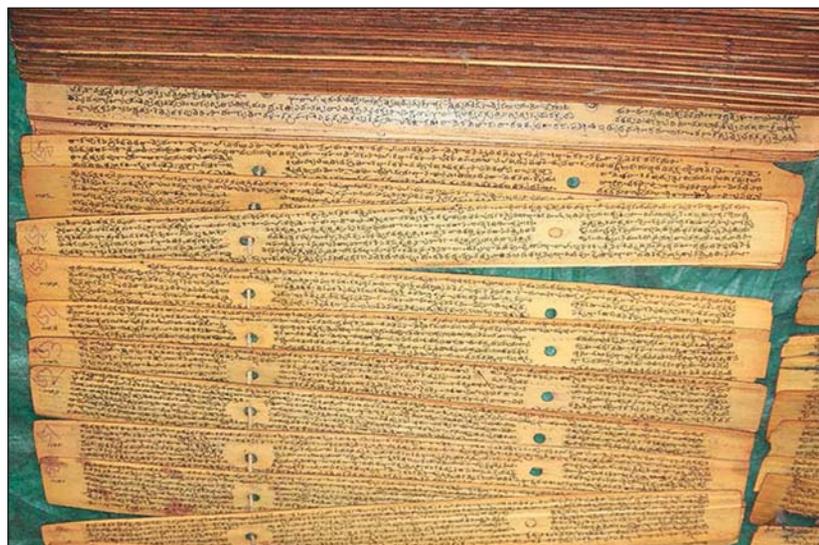
В индуизме это время возникновения Упанишад — произведений, содержащих религиозно-философское учение брахманской традиции. По Г.М.Бонгард-Левину, всего насчитывается 108 Упанишад, но основными являются 13, причем «первые из них — “Брихадараньяка” и “Чхандогья” были составлены в VIII—VII вв. до н.э.» [9].

Еще одной религией, появившейся тогда в Индии и исповедуемой вплоть до нынешних дней, является джайнизм. Ее осново-

положником был Вардхамана, которого приверженцы называли Махавира (великий герой) и Джина (победитель). Последнее из имен и отражено в названии религии. Время жизни Махавиры традиция называет вполне определенно: 599—527 гг. до н.э., но, строго говоря, сами джайны не считают лично его создателем своей религии. Они полагают, что учение существовало с незапамятных времен. Сейчас в мире насчитывается примерно 6 млн джайнов.

В Персии в ту эпоху проповедовал создатель зороастризма — Заратуштра (Зардушт). Вообще говоря, время его жизни известно настолько неточно,

что разные историки указывают и на XVII, и на VI вв. до н.э., но большинство соглашается с данными, приведенными в «Книге о праведном Виразе» (Арда Вираз Намаг). В этом произведении IX—X вв. утверждается, что Зардушт распространил веру за 300 лет до прихода Александра Македонского в Иран. Александр разбил войска персидского царя Дария III в 331 г. до н.э., соответственно, известный иранский исследователь Мухаммад Муин рассчитал, что Заратуштра жил с 660 по 583 г. до н.э. Священная книга зороастрийцев (парсов) Авеста представляет собой собрание текстов разных времен, но главной ее частью счита-



Индийские манускрипты на пальмовых листьях.



Лао-цзы. Работа Н.Рериха. 1943 г. Государственный музей искусства народов Востока. Москва.

ются Гаты — гимны самого Заратуштры, в которых излагаются основы вероучения. В настоящее время зороастризм исповедуют примерно 200 тыс. человек.

В Китае «осевое время» оказалось чрезвычайно плодотворным. К.Ясперс писал: «В Китае жили тогда Конфуций и Лао-цзы, возникли все направления китайской философии, мыслили Мо-цзы, Чжуан-цзы, Ле-цзы и бесчисленное множество других» [10]. Если Конфуций фактически стал создателем государственной идеологии, то основоположником государственной религии тех времен — даосизма — считался Лао-Цзы (старый ребенок). Отец китайской историографии Сыма Цянь, живший во II—I вв. до н.э., в своем труде Ши Ци (Исторические записи) описывал его как историческое лицо. Он утверждал, что Лао-Цзы появился на свет в 604 г. до н.э. в уезде Ку царства Чу и первоначально носил имя Ли Эр, затем — Ли Дань. Многие годы Лао-Цзы служил чиновником — хранителем архива и советником одного из правителей, но когда из-за дурного правления в царстве наступил упадок, Лао-Цзы сел на черного буйвола и отправился на запад. На пограничной заставе он по просьбе стража записал свое учение, и таким образом возник всемирно известный трактат «Дао Дэ Цзин» (Книга о Пути и его проявлениях). Пос-

ле этого старец пересек границу, и с тех пор его никто не видел. Спустя несколько веков он был обожествлен даосами.

В иудаизме — это время так называемых Поздних пророков, прежде всего Исаяи. Его пророческое служение началось около 740 г. до н.э., во времена царствования Озии, когда произошло сильнейшее землетрясение. Катастрофы поколебали веру народа и царей Иудеи и Израиля, которые начали склоняться к идолопоклонству, борьбу с которым и вел пророк. В известном апокрифе «Мученичество Исаяи» утверждается, что он погиб во время царствования Манассии: примерно в 680 г. до н.э. за обличение царя в нечестии его перепилили дровяной пилой, но борьбу с идолопоклонством продолжили другие известные библейские пророки.

Рубеж новой эры характеризуется как очередной узел не только данными современных нам климатологов и геофизиков, но и непосредственными свидетельствами античных авторов. Они донесли до нас описания драматических событий той поры, начавшихся в середине I в. до н.э. В 64 г. до н.э. землетрясение в Иерусалиме сильно повредило Храм и крепостные стены. Через год, в 63 г. до н.э., землетрясение разрушило Пантикапей (ныне Керчь) и еще 20 городов Пантикапейского царства. Вскоре после

мартовских ид (15 марта) 44 г. до н.э., когда был убит Гай Юлий Цезарь, римляне были потрясены появлением кометы, которая наблюдалась на небе в течение нескольких дней. Поначалу это было истолковано как явление Цезаря, обретшего бессмертия и включенного в сонм звезд, и в храме Венеры спешно воздвигли его статую со звездой на голове, однако вскоре Солнце стало закрываться мглой — и настроения изменились. Плиний Старший записал: «Происходят зловещие и длительные затмения Солнца, такие, как после убийства Цезаря, диктатора... которые послужили причиной почти целый год длившегося сумрака» [11]. Поэтическое описание катаклизмов оставил Вергилий в своих «Георгиках»:

«В час, когда Цезарь угас,
пожалело и солнце о Риме,
Лик лучезарный оно темнотою
багровеющей скрыло.
Ночи навечной тогда устрашил
мир нечестивый» [12].

Далее поэт рассказал об извержении вулкана Этны, о землетрясениях в Альпах и других катастрофических явлениях. Катаклизмы в Римской империи, периоды голода и эпидемий продолжались более века — вплоть до уничтожившего Помпеи извержения Везувия в 79 г. н.э. В 31 г. до н.э. сильнейшее землетрясение произошло в Палестине. Иосиф Флавий записал в «Иудейских древностях»:



Поклонение волхвов. Фреска Джотто ди Бондоне. Капелла Скровеньи в Падуе. Вифлеемская звезда изображена как комета Галлея, которую Джотто лично наблюдал в 1301 г.

«В это время... в седьмой год царствования Ирода... страну иудеев постигло небывалое дотоле землетрясение, результатом которого была массовая гибель скота. Также погибло до тридцати тысяч человек под развалинами рушившихся зданий» [13].

К этому периоду приурочено появление новой мировой религии — христианства, хотя точные годы жизни Иисуса Христа, строго говоря, не известны. Традиция, легшая в основу современного календаря, утверждает, что он родился 25 декабря 1 г. до н.э., но эта дата условна. Основу этой традиции заложил папский архивариус Дионисий Малый в 525 г. н.э., и многие историки ее оспаривают. Серьезные историко-астрономические исследования по этому поводу провел профессор МГУ О.М.Рапов. Согласившись с популярной гипотезой о том, что фигурирую-

щей в Евангелиях Вифлеемской звездой являлась комета Галлея, он рассчитал, что Иисус родился в сентябре 12 г. до н.э. и был распят в марте 31 г. н.э. Существуют и другие предположения, но при любых интерпретациях казнь могла состояться только в интервале между 26 и 36 гг. н.э., когда Понтий Пилат был прокуратором Иудеи. В настоящее время христианство исповедуют около 2 млрд последователей.

В тот же период происходила религиозная революция внутри иудаизма, которую проводили законоучители, известные как «таннаи». Ее начало было связано с деятельностью Гиллея (Хиллел ха-Закен, около 70 г. до н.э. — 10 г. н.э.), который ввел так называемые герменевтические правила раскрытия смысла библейских предписаний или взаимосвязи разных частей библей-

ского текста, позволяющие выявить не выраженное в нем прямо или недостаточно уточненное заключение. Эти достижения Гиллея дали возможность его многочисленным ученикам кодифицировать так называемый Устный Закон и написать древнейшую часть Талмуда — Мишну.

В буддизме тогда произошли сильнейшие потрясения, и он разделился на два крупных направления, известные как Хинаяна (Малая Колесница) и Махаяна (Великая Колесница). Названия эти были введены реформаторами-махаянистами, стремившимися придать старой школе, называвшейся на самом деле Стхавиравада (Тхеравада) — уничижительное именование, мол, это малый, низший, ущербный путь. Сама Махаяна представляла собой конгломерат разнообразных школ, но роднившим их стало принципиальное изменение представлений о религиозном идеале буддизма. Приверженцы Стхавиравады идеальной личностью считали архата — святого монаха, собственными усилиями достигшего нирваны и навсегда покинувшего бренный мир. Приверженцы Махаяны называли подобный путь развития личности эгоизмом и предлагали взамен путь боддхисаттвы (наделенного просветлением). Боддхисаттвой, по их представлениям, может стать не только монах, но и мирянин, и он, ставши таковым, сознательно пребывает в мире, чтобы помочь другим людям найти дорогу к просветлению. Самым ранним произведением Махаяны является Аштасахасрика Праджняпарамита сутра (Сутра о Запретельной Премудрости в восемь тысяч стихов), и большинство буддологов считают, что она возникла именно в середине 1 в. до н.э.

VI—VII вв. Исторические хроники донесли до нас яркие описания природных катастроф тех времен, которые начались с середины VI в. Описывая деся-

тый год правления византийского императора Юстиниана, пришедшийся на 536—537 гг., Прокопий Кесарийский в книге «Война с вандалами» засвидетельствовал: «И в этом году произошло величайшее чудо: весь год Солнце испускало свет как Луна, без лучей, как будто оно теряло свою силу, перестав, как прежде, чисто и ярко сиять. С того времени, как это началось, не прекращались среди людей ни война, ни моровая язва, ни какое-либо иное бедствие, несущее смерть» [14]. Его слова подтверждал Михаил Сириец: «Солнце потемнело, и темнота эта продолжалась 18 месяцев. Каждый день длился около 4 часов, и свет этот был лишь слабой тенью» [15]. Подобных свидетельств сохранилось немало, причем природные катастрофы не обошли и Америку, где подорвали процветание цивилизаций майя и мочико.

Что же могло являться причиной катаклизма, похожего на

пресловутую «ядерную зиму»? Некоторые ученые полагают, что таковой могло быть извержение вулкана, другие выдвигают гипотезу о связи с падением метеора или кометы. Группа ученых, включающая уже упоминавшихся Гусякова и Массе, пришла к выводу, что падение небесных тел могло произойти в заливе Карпентария на севере Австралии, в результате чего появились кратеры Канмаре и Таббан. Так или иначе, но эти годы стали самыми холодными за последние 2000 лет, что подтверждают многочисленные факты, собранные климатологами. Дендролог М.Бэйли, в частности, изучив годичные кольца ирландских дубов, относил период наибольшей климатической нестабильности к 536—545 гг.

Восемнадцатимесячная зима послужила спусковым крючком серии катаклизмов, продолжавшихся более века. На их фоне

зарегистрированных пандемий чумы, получившая название «Чумы Юстиниана» и продлившаяся около 60 лет. Ее жертвами — как в Азии, так и в Европе, — стали более 100 млн человек, а в Константинополе погибло 40% населения.

В этот период — по утверждению историка VIII в. Ибн Хишам, «в двенадцатую ночь месяца раба аль-аввал года слона» родился основатель ислама Мухаммад. Современные историки относят это событие к 570 или к 571 г. Свою религиозную миссию Мухаммад начал выполнять около 610 г., в 40-летнем возрасте, — и вскоре мусульманами стало множество народов. В настоящее время ислам исповедуют более миллиарда людей, благодаря чему его относят к мировым религиям. Умер Мухаммад в 632 г.

Религиозные революции VII в. не ограничились появлением ислама. В Китае в это время небывалое распространение полу-



Паломники в Мекке.

чил буддизм в той форме, которая китайцами именуется Чань. Вообще говоря, чань-буддизм начал распространяться в Китае с VI в. Примерно в 520 г. в страну прибыл 28-й общепатриарх Бодхидхарма, ставший первым чаньским патриархом и основоположником шаолинской школы боевых искусств. Подлинного расцвета Чань достиг в VII в. — благодаря шестому чаньскому патриарху Дацзяню Хуэйинэну (638—713), ученики которого возглавили пять ведущих школ. Учение Хуэйинэна содержится в знаменитом произведении «Сутра Помоста шестого патриарха», которое также называют «Алтарной сутрой». Оно довольно серьезно отличается от наставлений Бодхидхармы и других чаньских наставников. Тем не менее именно это учение распространилось во всех слоях китайского народа: от монахов до императорской семьи, благодаря чему время правления династии Тан (VII—X вв.) именуется китайцами «эпохой деятельного Чань» и почитается «золотым веком». Вскоре Чань в версии Хуэйинэна распространился за пределы Китая — в Корею (где стал называться Сон), во Вьетнам (Тхиен) и в Японию (Дзэн). Японские дзэн-буддисты почитают Хуэйинэна под именем Дайкан Эно. В конце XX в. дзэн-буддизм широко распространился в Европе и Америке.

В Тибете тогда буддизм начал вытеснять древнюю религию бон. Около 630 г. на тибетский престол вступил Сронцангампо (617—649), который позднее стал считаться воплощением покровителя Тибета — бодхисаттвы Авалокитешвары. Правитель повелел создать тибетский алфавит и обратил тибетцев в буддизм, чему способствовали его жены — принцессы из Непала и Китая, привезшие в страну священные буддийские тексты и предметы культа. Китайка, в частности, привезла большую статую Будды, считающуюся и поныне одной из



Камень Солнца, иллюстрирующий мезоамериканский миф о пяти Солнцах. Корни мифа, возможно, связаны с воспоминаниями о неоднократных длительных периодах сумрака, вызванного либо извержениями вулканов, либо падением метеоров или комет. Национальный музей антропологии в Мехико.

главных тибетских святынь и хранящуюся в монастыре Джокханг. При Сронцангампо в Лхасе был возведен знаменитый дворец Потала, который позже пришел в запустение и был восстановлен уже в XVII в. Буддизм укоренился в тибетском обществе медленно и возобладал только в середине VIII в., благодаря проповедям Шантаракшиты и особенно Падмасамбхавы.

XIII—XIV вв. Последний из рассматриваемых узлов оставил в памяти человечества неизгладимый след из-за «Черной смерти» — небывалой пандемии чумы, когда только в Европе умерло до трети населения. Следует заметить, что современные эпидемиологи, в их числе биолог и историк М.В.Супотницкий, относят чуму к природным сапронозам. Так именуется группа инфекционных заболеваний, для возбудителей

которых главным естественным местом обитания служат неживые объекты окружающей среды. Время от времени возбудители, находящиеся в выявленных природных очагах чумы, переходят к паразитическому способу существования, что и ведет к эпидемиям, а смена способа существования вызывается климатическими изменениями, что было понято уже давно.

Первый историк пандемии Юстас Геккер (1795—1850) в своей книге «Черная смерть», опубликованной в 1832 г., уделил весьма пристальное внимание катастрофам, предшествующим эпидемии. Современные климатологи подтверждают реальность периода природных катастроф, который, судя по всему, начался в 1258—1259 гг. с сильнейшего извержения вулкана. Международная группа исследователей во главе с А.В.Кур-



Святой Григорий Палама. Греческая икона. Государственный музей изобразительных искусств им.А.С.Пушкина. Москва.



Цзонкхапа. Тибетская танка. Государственный музей искусства народов Востока. Москва.

батовым считает, что это был эквадорский вулкан Килотоа. Радиоуглеродный анализ датировал его извержение примерно 1280 г., а количество связанных с ним сульфатов в ледниковых отложениях Гренландии и Антарктики оказалось рекордным за последние несколько тысяч лет. Оно в несколько раз превышает то, что оставило, например, знаменитое извержение Кракатау в 1883 г. Вскоре после извержения 1258—1259 гг. началось длительное глобальное похолодание, получившее название «малого ледникового периода». С начала 1330-х годов Китай, по данным Ю.Геккера, потрясли непрекращающиеся катастрофы: засухи и наводнения, землетрясения и оползни, цунами, нашествия саранчи. Повсеместные землетрясения прошли тогда в Европе, были зафиксированы в Египте, в Сирии и в Гима-

лаях. На острове Кипр землетрясение сопровождалось разрушительным ураганом и ядовитыми испарениями, на Сицилии извергался вулкан Этна. На этом фоне и началась пандемия чумы, которая продлилась до середины 1350-х годов.

В тот период христианский мир подвергся суровым испытаниям. В Западной Европе неизбежный ранее авторитет католической церкви пошатнулся, начали возникать изуверские движения вроде секты флагеллантов. Английский богослов Джон Уиклиф (1320—1384) выступил с резкой критикой католицизма и осуществил первый перевод Библии на английский язык. Начавшаяся эпоха Возрождения породила Папский раскол 1378 г., а позднее и протестантскую Реформацию. В Восточной Европе под влиянием монахов Афона, прежде всего Григория Синаита

и Григория Паламы, изменения пошли иначе, породив религиозное движение, называемое исихазмом (от греческого «исихия», что означает «покой»). В России наиболее известным исихастом того времени был Сергей Радонежский.

Вообще говоря, в XIII—XIV вв. произошли многие религиозные революции, в частности, в Мезомерике на историческую сцену вышли астеки со своими религиозными убеждениями, в Южной Америке сформировалась религия империи инков. В иудаизме в это время начало прорываться из-под запретов тайное мистическое учение — каббала. Живший в Испании Моше де Леон (1250—1305) обнаружил написанную на арамейском языке книгу Зохар (Сияние), которую выдавал за творение Шимона бар Йохая, жившего в Палестине во II в. н.э. Многие считают ее произведением



Извержение исландского вулкана Эйяфьятлайокудль в 2010 г. Массовыми извержениями вулканов может вызываться неоднократно описывавшийся древними историками длительный сумрак, когда солнца на небе практически не было видно в течение многих месяцев.

Фото НАСА

ем самого Моше де Леона, но, так или иначе, Зохар стал для кабалистов одной из священных книг иудаизма наряду с Библией и Талмудом. Полное издание Зохар в 22 томах вышло в свет в Иерусалиме в 1945—1958 гг.

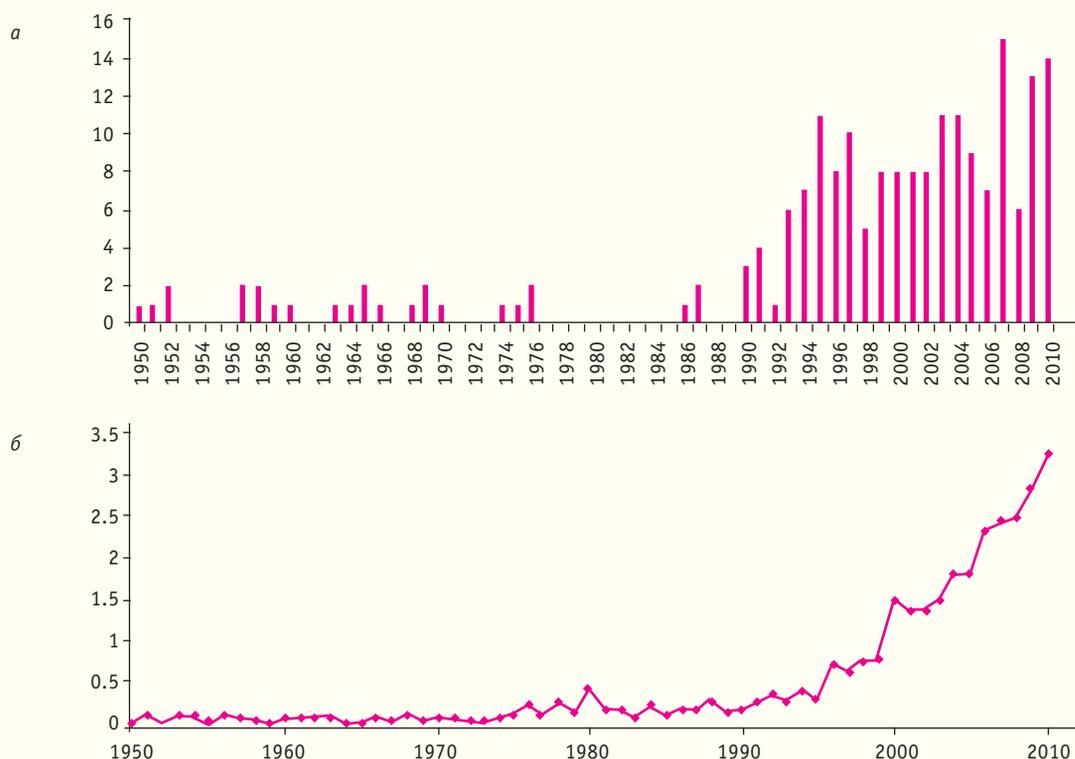
Однако наиболее значительная по своим историческим последствиям религиозная революция состоялась тогда в Тибете, породив северный буддизм, или ламаизм, что связано с именем выдающегося реформатора Цзонкхапы (1357—1419). Монах Цзонкхапа Лобзан Драгпа из монастыря Гумбум в Амдо основал новое движение Гелуг (желтошапочники), очистил Тибет от многочисленных лжемонахов и организовал действующую до сего времени церковную иерархию во главе с панчэн-римпоче (панчэн-ламой, панчэн-эртни) и гьялпо-римпоче (далай-ламой). Панчэн-лама считается воплощением будды Амитабхи, духов-

ным отцом далай-ламы и обладает духовной властью. Далай-лама считается воплощением боддхисаттвы Авалокитешвары и располагает светской властью. После смерти Цзонкхапы созданный им ламаизм стал широко распространяться: с конца XVI в. стал государственной религией в Монголии, позже был принят бурятами, тувинцами и калмыками. Тибетские святыни, в том числе книги Ганджур в 108 томах и комментарии к ним Данджур в 225 томах чтятся и южными буддистами.

* * *

Подведем итоги. Проанализировав последние 5 тыс. лет существования человечества, мы увидели, что примерно через каждые 700 лет (расчеты показывают, что через 675 ± 5 лет) природа начинает «безумство-

вать» и на Земле учащаются катаклизмы, подобные тем, которые приходится наблюдать нашим современникам. Землетрясения учащаются, мощность их возрастает, извержения вулканов приводят к климатическим изменениям, которые порождают наводнения, засухи и эпидемии. Такие периоды сопровождаются падением метеоров и комет, а однажды «безумство природы» дошло до потрясения магнитосферы и магнитного экскурса, лишивших жителей Земли защиты от космических лучей, усиливших радиацию и породивших массовые мутации. Период природной нестабильности длится, как правило, более века и сопровождается переселениями народов, падением и возникновением цивилизаций, причем все главные религиозные революции оказываются так или иначе приуроченными



Изменения геофизических параметров на Земле в 1950—2010 гг.: *а* — количество сильных землетрясений (с магнитудой 7 и выше) за год (по данным сайта <http://seismograph.ru>); *б* — скорость перемещения северного магнитного полюса (в градусах за год; по международной аналитической модели магнитного поля).

именно к таким периодам. Причины цикличности остаются пока неизвестными, но в качестве рабочей гипотезы можно предположить, что 675-летний

цикл — это цикл глобальной планетарной разгрузки накапливающихся тектонических напряжений. Мы живем в очередную такую узловую эпоху, и уточне-

ние причин цикличности может оказаться жизненно важным для всего человечества, поэтому к нему стоит приложить адекватные усилия. ■

Литература

1. Блаватская Е.П. Теософский словарь. М., 2001.
2. De Vore N. Encyclopedia of astrology. N.Y., 2005.
3. Лукиан Самосатский. Сочинения. В 2 т. Т.2. СПб., 2001.
4. Masse W.B. The archaeology and anthropology of Quaternary period cosmic impact // Comet/Asteroid impacts and human society: An interdisciplinary approach. Berlin, 2007. P.25—70.
5. Ветхозаветные апокрифы. СПб., 2001.
6. Радхакришнан С. Индийская философия. Т.1. М., 1956.
7. Чайлд Г. Арийцы. Основатели европейской цивилизации. М., 2009.
8. Malmström V.H. Cycles of the Sun, Mysteries of the Moon: The Calendar in Mesoamerican Civilization. Austin, 1997.
9. Бонгард-Левин Г.М. Древнеиндийская цивилизация: История. Религия. Философия. Эпос. Литература. Встреча культур. М., 2000.
10. Ясперс К. Истоки истории и ее цель // Смысл и назначение истории. М., 1991.
11. Pliny. Natural history. The Loeb classical library. V.1. Book 2, 30. L., 1967.
12. Вергилий. Буколики. Георгики. Энеида. Гораций. Оды. Эподы. Сатиры. Послания. Наука поэзии. М., 2009.
13. Флавий И. Иудейские древности. Кн.15. Гл.5.2. Минск, 1994.
14. Прокопий Кесарийский. Война с вандалами. Кн.2, 14. М., 1993.
15. Stephen M. A history of the later Roman Empire, AD 284-641: The transformation of the ancient world. Oxford, 2007.

ПРИРОДА

популярный
естественно-научный журнал

Под редакцией

проф. Ю. Х. Вагнера, проф. Л. В. Лисаржевского и проф. Л. А. Марасевича.

Философия естествознания. Астрономия. Физика. Химия. Геология с палеонтологией. Минералогия.
Общая биология. Зоология. Ботаника. Человек и его место в природе.

ЛНТОО

ЛСККС

1915

Наука развивается по разным направлениям неравномерно. Появляется новая идея или содержательный эксперимент (а чаще они возникают почти одновременно) – и за десятилетие-другое в науке формируются новые понятия. Первое время они встречают сопротивление научной общественности, но критика опровергается новыми результатами, и правильная теория быстро становится общепризнанной, входит в учебники. Наконец, лет через 20, первооткрыватели получают заслуженную Нобелевскую премию.

Публикуемая здесь статья К.П.Леонтьева, написанная им чуть меньше 100 лет назад, посвящена начальным успехам квантовой механики: объяснению спектра излучения черного тела и температурной зависимости теплоемкости твердых тел. Ко времени выхода статьи Леонтьева уже 15 лет существовала выведенная Максом Планком формула для распределения энергии в спектре излучения. В год рождения «Природы» Петер Дебай, развив идею Эйнштейна, применил гипотезу квантов к модели твердого тела. До открытия уравнения Шредингера (1926) и принципа неопределенности Гейзенберга (1927) оставалось еще больше 10 лет.

Изложение Леонтьева выглядит несколько наивным, зато его простота доходчива. В статье нет фактических ошибок, это прообраз первых учебников, представляющих непривычные понятия квантовой механики. Из текста видно, что их терминология еще не устоялась. Слова «атомное строение энергии» в заглавии звучат сегодня странно, но смысл их ясен: это «квантование энергии». Структура излучения не непрерывная, а дробная, квантовая, и это понятие вполне соответствует атомарной, дробной, структуре вещества. Ряд терминов для надежности автору приходится дублировать по-немецки. Но зато русские читатели знакомы с основами новой физики – квантовой – сразу по мере ее создания.

Леонтьевы – фамилия родовитого русского дворянства. К сожалению, о самом авторе статьи нам ничего не известно.

Упомянутые здесь ученые стали нобелевскими лауреатами: Планк – в 1918 г.; Эйнштейн и Шредингер – в 1921-м; Гейзенберг – в 1932-м; Дебай – в 1936-м.

Теплоемкость твердого тела и атомное строение энергии

К.А.Леонтьев

Вопрос о теплоемкости по гимназическим воспоминаниям представляется обыкновенно чем-то очень скучным, ни к чему ненужным и стоящим особняком от других вопросов естествознания. При слове «теплоемкость» вспоминается по большей части калориметр Реньо, длинная и «трудная» формула, в лучшем случае малопонятный закон Дюлонга и Пти, который как-то применяется в химии, — и только. А между тем этот вопрос занимает в современной, не школьной физике одно из главных мест, является предметом крайне интересных, пожалуй, захватывающе интересных исследований и стоит в непосредственной связи с другими кардинальными вопросами науки о веществе. Выяснить, хотя бы отчасти, значение этого вопроса и показать, как он переплетается с другими областями естествознания, — составляет цель предлагаемой статьи.

Что такое теплоемкость? В практической физике это — количество тепла, которое нужно сообщить одному грамму вещества, чтобы нагреть его на 1°C . Понятно, что такое определение является чисто формальным, и, чтобы сделать его определением по существу, нам нужно глубже заглянуть в сущность понятия «количество тепла» и процесса теплопередачи.

В настоящее время является общепринятой так называемая молекулярно-кинетическая теория теплоты. Согласно этой теории, тепловые явления являются результатом непрерывных, совершенно беспорядочных движений молекул. Скорость каждой отдельной молекулы постоянно изменяется вследствие столкновений ее с другими молекулами; изменения эти настолько быстры, что следить за ними, конечно, невозможно. Поэтому механическое состояние подобной системы характеризуется распределением скоростей. Мы указываем, сколько молекул имеют данную скорость v , сколько — скорость v_1 , v_2 и т.д. Мы разделяем, следовательно, весь промежуток возможных скоростей на «области» и указываем число молекул, соответствующих данной области. Изменяя скорость, молекула выходит из своей «области v » и вступает в другую «область v_1 »; но в то же время какая-нибудь другая выходит из «области v_2 » и входит в «область v » и т.д. Меняется, так сказать, личный состав, но не число молекул, принадлежащих данной области, и распределение скоростей остается постоянным.

Такой случайный характер этих изменений позволяет пользоваться теорией вероятностей и

заранее вычислить распределение скоростей, что и было сделано впервые Максвеллом. Откладывая по горизонтальному направлению величину скорости, а по вертикальному — число молекул, обладающих данной скоростью, мы получим кривую распределения Максвелла (рис.1). Из нее видно, что большая часть молекул обладает некоторой скоростью v_0 . Если бы мы могли по произволу взять какую-либо молекулу и измерить ее скорость, то всего вероятнее мы попали бы на молекулу, обладающую именно этой скоростью v_0 , которая поэтому и называется наивероятнейшей. Как очень большая, так и очень малые скорости встречаются редко, на что указывает приближение к нулю соответствующих ординат кривой на рис.1.

Всякое движущееся тело, а следовательно, и движущаяся молекула, обладает в силу своего движения определенным запасом энергии. Сумма энергий всех молекул представляет, согласно кинетической теории, весь запас тепла, содержащегося в данном теле. Тепловое состояние тела характеризуется главным образом скоростью v_0 большинства его молекул; эта скорость и принимается за меру температуры. Кинетическая теория тепла связывает энергию и скорость молекул с количеством тепла и температурой тела совершенно определенными математическими формулами, причем в основе подобных расчетов лежит предположение о полной одинаковости и, так сказать, равноправии всех молекул, позволяющее пользоваться теорией вероятностей. Теория идет даже

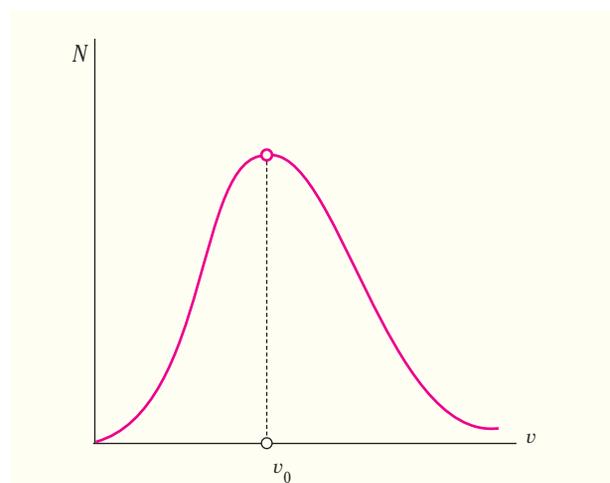


Рис.1.

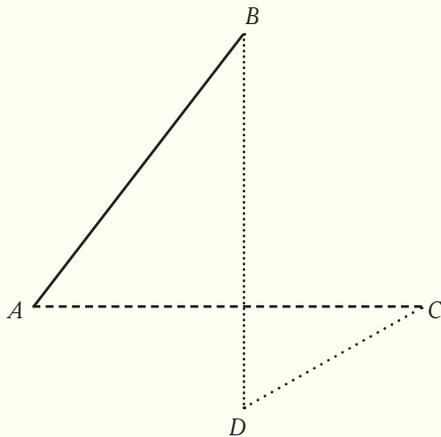


Рис.2.

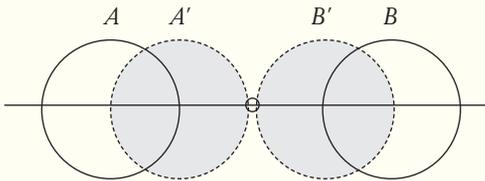


Рис.3.

дальше: она считает, что равноправны не только молекулы, но и все те виды движений, которые данная молекула может выполнять. Это утверждение является чрезвычайно важным, и на нем нам необходимо остановиться несколько подробнее.

Рассмотрим отдельную молекулу (вернее, атом) одноатомного газа. Ее энергия может изменяться только вследствие движения. Но всякое движение в пространстве можно представить как результат сложения трех движений по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Поясним это примером. Пусть мы хотим попасть на колокольню Ивана Великого. Если бы мы могли летать, то мы попали бы туда, двигаясь по прямой линии; на самом же деле нам придется идти прямо *вперед*, свертывать *в сторону* и подняться *вверх*. Наши движения связаны друг с другом тем, что существуют определенные пути — улицы, переулки и лестницы; для молекулы ничего подобного не существует, и поэтому три основных движения для нее совершенно равноправны и независимы. Энергия такой молекулы может, следовательно, меняться тремя независимыми способами (рис.2).

Возьмем теперь молекулу двухатомного газа, например водорода. Она состоит из двух атомов, связанных силами взаимного притяжения (рис.3), и кроме энергии движения *en bloc*, или кинетиче-

ской, обладает еще энергией, зависящей от относительного положения ее атомов — потенциальной. Энергия подобной системы может меняться: 1) при движении всей молекулы, как целого (случай, аналогичный предыдущему) — тремя способами; 2) вследствие вращения атомов А и В около общего центра тяжести О (рис.3); 3) вследствие изменения расстояния между атомами (при переходе А и В в положения А' и В'); всего пятью независимыми способами.

Число этих способов называется в механике числом *степеней свободы*. Мы скажем, следовательно, что молекула одноатомного газа обладает тремя, двухатомного — пятью степенями свободы; молекула твердого тела, каждое движение которой связано с изменением и кинетической, и потенциальной энергии, — шестью степенями свободы. Вышеуказанное утверждение кинетической теории сводится, следовательно, к равноправию всех степеней свободы. Если энергия одноатомной молекулы равна K , то на каждую степень свободы приходится количество энергии $q = 1/3 K$; все движения обладают одинаковой средней энергией.

Предположим, что мы имеем находящуюся в тепловом равновесии смесь одноатомных и двухатомных молекул, например смесь гелия с водородом. Как распределится между ними энергия? Основной принцип кинетической теории — принцип равномерного распределения энергии — утверждает, что энергия распределится равномерно, т.е. так, что на всякую степень свободы придется в среднем одно и то же количество энергии. Если это количество равно q , то одноатомная молекула будет иметь всего $3q$, двухатомная — $5q$; если газы соприкасаются с твердым телом, то его молекула получит $6q$.

Понятно, что нет смысла говорить об энергии одной молекулы, которая неизмеримо мала и непостоянна. Поэтому мы будем рассматривать энергию всех молекул, содержащихся в грамм-атоме вещества, т.е. в таком количестве вещества, вес коего в граммах равен численно атомному весу, например 1 г водорода, 16 г кислорода, 4 г гелия, 108 г серебра и т.п. Оказывается, что при таком условии на одну степень свободы при абсолютной температуре T приходится количество энергии, эквивалентное как раз T калориям. Полный запас энергии твердого тела будет следовательно $6T$ калорий, а его изменение при нагревании на 1° — 6 калорий. Теплоемкость грамм-атома оказывается постоянной и равной 6, а это и есть закон Дюлонга и Пти.

Однако этот закон далеко не обладает общностью. Он был найден опытным путем уже давно, в начале прошлого столетия, и уже тогда оказалось, что атомная теплоемкость колеблется в очень широких пределах — примерно от 4 до 7. Впоследствии оказалось, что отступления особен-

но велики для тел с малым атомным весом и высокой точкой плавления. Дальнейшие исследования показали, что он неверен и вообще, так как из них с несомненностью выяснилась зависимость теплоемкости от температуры, которую отрицает закон Дюлонга и Пти в вышеуказанной форме.

Но это только одна сторона дела. До сих пор мы говорили о непосредственной передаче тепла от одного материального тела другому. Существуют, однако, случаи теплового обмена между двумя телами, разделенными пустым пространством или мировым эфиром. При этом тепловая энергия одного, лучеиспускающего, тела переходит в новую форму «лучистой энергии», пробегает со скоростью света разделяющее оба тела пространство и, падая на другое тело, поглощается им, переходя снова в тепло. В настоящее время с несомненностью установлено, что «лучистая энергия» — энергия электромагнитная, и тем самым установлено, что процесс преобразования тепла в лучистую энергию и обратно — тоже процесс электромагнитный, возможный только при существовании в теле отдельных, способных испускать и поглощать электромагнитные волны, элементов — так называемых осцилляторов, какими, по мнению Планка, и являются атомы материи. Самый процесс преобразования еще не вполне выяснен, но в общих чертах таков: при столкновениях атомов получают электромагнитные возмущения; эти возмущения создают в эфире волны, которые мы и воспринимаем в виде тепла или света, в зависимости от характера столкновений и продолжительности колебаний участвующих в них электрических масс.

Теория электромагнитных взаимодействий дает возможность установить связь между энергией такого осциллятора и электромагнитной энергией окружающей среды, т.е. между энергией осциллятора и энергией испускаемого или поглощаемого им излучения. Зная, как изменяется энергия осциллятора с числом колебаний, мы найдем закон распределения энергии в спектре. Мы видели выше, что обычная «классическая» теория тепла построена на предположении о равномерном распределении энергии между степенями свободы. Исходя из этого предположения, лорд Рэлей вывел закон распределения энергии в спектре накаливаемого черного тела. Оказалось, что этот закон не сходится с опытом. Он дает непрерывное нарастание энергии в сторону коротких волн, тогда как на самом деле главная часть, максимум энергии в спектре всех доступных нам источников света лежит или в ультракрасной, или в видимой, части спектра и в сторону коротких волн энергия убывает.

Рисунок 4 показывает эту зависимость энергии от длины волны. Первая кривая вычислена по Рэлю, вторая кривая получена Пашеном из непосредственных измерений. Достаточно взглянуть

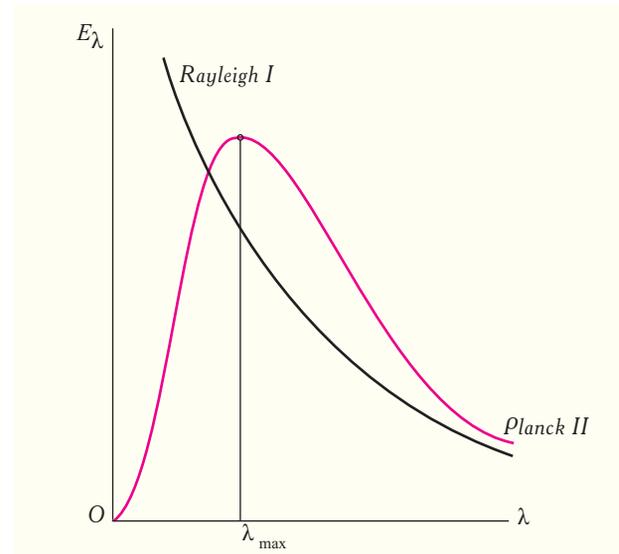


Рис.4.

на чертеж, чтобы убедиться в полном расхождении теории Рэля с опытом. Закон Рэля оказывается более или менее пригодным только в очень длинных волнах — в так называемом тепловом и в начале видимого спектра.

Итак, формула Рэля неверна. Но ведь она получена из основных положений кинетической теории методом теоретической физики. Сам по себе этот метод непогрешим, так как он основан на применении непогрешимого математического анализа; но верные результаты он дает только тогда, когда верны отправные предположения теории. Ясно, что в нашем случае это *condicio sine qua pop* не соблюдено, и нам остается только отыскать, какое же из наших предположений неверно. Ответ ясен: неверен закон равномерного распределения, и от него надо отказаться. Сделать это, конечно, очень легко, но ведь надо еще найти, чем заменить неверный закон, и притом заменить с пользой для дела. Это было сделано Планком в целом ряде работ, собранных в одно целое в его знаменитой книге «Vorlesungen über die theorie d. Wärmestrahlung», составляющей в теории излучения такое же начало новой эры, как «Versuch einer Theorie» Лоренца — в учении об электричестве.

Посмотрим прежде всего, как должен измениться закон распределения энергии между осцилляторами. По старым представлениям кинетической теории, на каждую степень свободы приходится в среднем количество энергии, равное $1/3$ энергии поступательного движения газовой молекулы, причем эта энергия была пропорциональна абсолютной температуре. Ясно, что на самом деле энергия приходится меньше и распределена она неравномерно: кривая распределения энергии в спектре в общем походит на кривую распределения скоростей Максвелла. Сообразно с этим нам

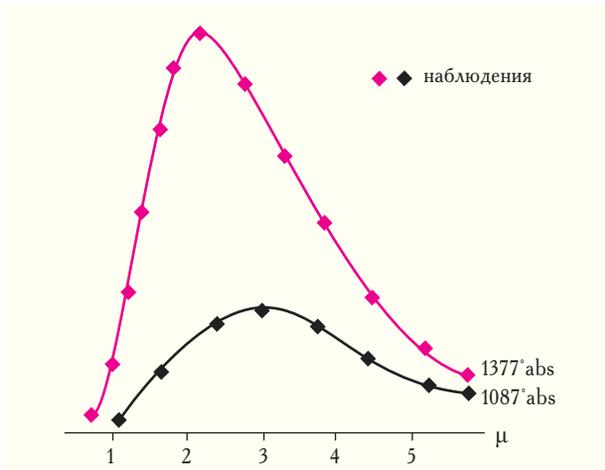


Рис.5.

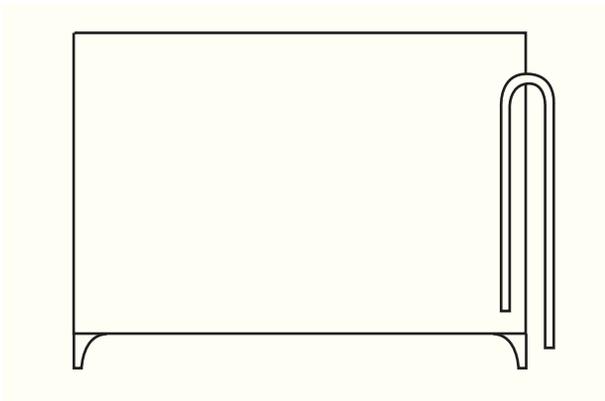


Рис.6.

приходится несколько изменить и понятие о температуре. Согласно с опытом распределение энергии во всем спектре получил Планк исходя из гипотезы об «элементе энергии» — «Quantenhypothese», как ее называют. Согласно этой гипотезе, осциллятор не может иметь произвольного количества энергии; его запас энергии может равняться или нулю, или целому числу определенных, характерных для данного осциллятора «элементов энергии» ϵ . Дробной частью ϵ осциллятор обладать не может; часть их будет иметь поэтому запас энергии, равный $0 \cdot \epsilon$, часть — $1 \cdot \epsilon$, $2 \cdot \epsilon$, $3 \cdot \epsilon$... $\dots n \cdot \epsilon$ и средняя энергия в общем будет меньше, чем при равномерном распределении.

Понятно, что к распределению энергии в такой системе приложимы те же рассуждения, как и к распределению энергии в системе газовых молекул: мы можем точно так же распределить все доступное осциллятору количество энергии на области: «область $0 \cdot \epsilon$ », «область $1 \cdot \epsilon$, $2 \cdot \epsilon$, $3 \cdot \epsilon$... $\dots n \cdot \epsilon$ » и считать, сколько осцилляторов приходится на данную область. Получив таким образом при помощи теории вероятностей распределение

энергии по осцилляторам, мы, как и раньше, перейдем к распределению энергии в спектре. Кривые (рис.5) показывают, что совпадение теории с опытом почти полное и что гипотезу Планка можно с очень большой вероятностью считать близкой к действительности.

Здесь нам нужно несколько подробнее остановиться на самом понятии «элемент энергии». Осциллятор Планка — система, которая может испускать электромагнитные — тепловые или световые — волны с определенной, присущей ему частотой или цветностью. Гипотеза Планка состоит именно в предположении, что это испускание происходит не непрерывно, а отдельными порциями, тогда и только тогда, когда запас энергии самого осциллятора делается равным кратному элементу энергии ϵ , причем этот элемент нужно считать пропорциональным частоте колебаний осциллятора. Если осциллятор совершает ν колебаний в секунду, то для него $\epsilon = h\nu$; его энергия может равняться или $0 \cdot h\nu$, или $1 \cdot h\nu$, или $2 \cdot h\nu$... $\dots n \cdot h\nu$, и, только достигнув одного из этих значений энергии, он может, так сказать, разрядиться, испуская один или, в редких случаях, несколько элементов энергии $h\nu$. Полной и последовательно проведенной механической аналогии для такой системы мы не знаем; но нечто подобное можно представить себе очень просто — в виде обыкновенного бака для промывки фотографических пластинок. Такой бак (рис.6) имеет в одной из стенок сифон. Пока высота воды в баке не достигает изгиба сифона, его правое колено пусто и вода не выливается. Но как только она дойдет до изгиба и подымется несколько выше, весь сифон наполняется водой и бак сразу опорожняется. Конечно, эта аналогия очень груба, но некоторое представление о процессе испускания она все же дает.

Иногда называют планковский элемент энергии атомом энергии. Это название не совсем подходит в данном случае. Дело в том, что многообразие атомов материи не безгранично; мы знаем всего около 80 различных атомов веществ, тогда как «атомов энергии» — бесконечное множество. Каждой частоте колебаний ν соответствует свой атом энергии $\epsilon = h\nu$, и так как частоты колебаний световых и тепловых волн меняются непрерывно, то и атомов энергии будет сколько угодно. Понятно, что нет смысла говорить о прерывном «атомном» строении энергии; энергия сама по себе непрерывна, как показывают все процессы в чистом эфире, и только тогда, когда дело идет о взаимодействии между материей и энергией, появляется прерывность, обусловленная прерывностью самой материи. Наиболее существенным свойством этих «атомов энергии» является то, что величина h для всех них, а следовательно, и для всех осцилляторов, одна и та же; а так как законы излучения справедливы для *всей* доступной нам Вселенной, так как *вся* она построена из осцилля-

торов, обладающих подобными свойствами, то эта величина h приобретает значение такой же мировой постоянной, как, например, гравитационная постоянная, скорость света в эфире, заряд электрона и т.п. Мы можем экспериментировать лучше или хуже, определять значение h с большей или меньшей точностью, но самый факт постоянства h от этого не меняется. Этот факт — закон природы, и как таковой, независим от познающего его человеческого духа.

Каково же значение h ? Это можно выяснить следующим образом. По определению, $h = \epsilon/v = \epsilon T$, если T — период колебаний v осциллятора. Оно измеряется произведением энергии на время, т.е. однородно с той величиной, которая в теоретической механике носит название действия (Action). Эта величина играет в механике огромную роль. Представим себе, что некоторое тело из точки А (рис.7) перемещается в точку В. Оно может совершить это перемещение по самым разнообразным путям; спрашивается, какой из них оно изберет на самом деле? Механика отвечает на этот вопрос так: тот, для которого величина «действия», т.е. произведение из затраченной на переход энергии на время перехода, будет наименьшая. Это — так называемое начало наименьшего действия, Principle of Least Action Гамильтона, который показал, что всю механику можно в сущности рассматривать как развитие этого общего начала. С этой точки зрения величину h можно рассматривать как то наименьшее количество действия, которое затрачивается при всяком действительно происходящем взаимодействии между осциллятором и лучистой энергией. Так и смотрел на это сам Планк. Зоммерфельд пошел в этом направлении дальше и предположил, что при всяком молекулярном взаимодействии будет то же самое. Мы пришли, таким образом, к новому общему принципу молекулярной физики — принципу Зоммерфельда. Те результаты, которые были получены при его помощи, показывают, что в будущем он, может быть, займет в молекулярной физике такое же положение, как начало Гамильтона в механике обычных тел.

Мы видели, что замена гипотезы о равномерном распределении гипотезой Планка привела к согласным с опытом результатам в теории излучения. Огромная заслуга Эйнштейна состоит в том, что он решился распространить эту гипотезу и на тепловые колебания атомов. Рассматривая атом как осциллятор и приняв для его энергии выражение, предложенное Планком, Эйнштейн пришел к формуле для теплоемкости твердого тела, которая очень хорошо воспроизводит зависимость теплоемкости от температуры, а при высоких температурах переходит в закон Дюлонга и Пти. В эту формулу входит, конечно, число колебаний атома v , так как энергия его выражается через элементы энергии $\epsilon = hv$. Возникает

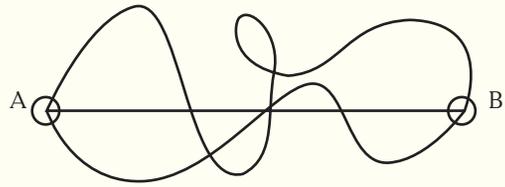


Рис.7.

вопрос о том, каково в этом случае значение v ? Зная зависимость теплоемкости от температуры, мы можем вычислить v , но при таком способе его определения всегда может остаться сомнение относительно того, не представляет ли полученное число просто эмпирической константы, не имеющей действительной связи со свойствами атома. Оказывается, что можно определить v несколькими независимыми друг от друга способами, дающими согласные между собой и с вычислением результаты. Этот факт имеет огромное значение. Он показывает, что совпадение формул Эйнштейна с опытом не случайно и что основная гипотеза, если не вполне, то очень близко подходит к истине.

Электромагнитная теория света принимает, что поглощение света в какой-нибудь среде обусловлено присутствием в этой среде электрических зарядов, способных совершать колебания. Если эти колебания совершаются с частотой v , то сильнее всего поглощается свет той же частоты. Такое тело будет иметь, как говорят, полосу поглощения при данной частоте. Оказывается, что полосы в видимой и ультрафиолетовой части спектра обусловлены быстрыми колебаниями электронов, а в инфракрасной — колебаниями более тяжелых и медленных заряженных атомов или ионов. В твердом теле атомы расположены тесно и не могут далеко отходить от своего начального положения; поэтому их тепловые движения тоже будут иметь колебательный характер, и мы можем считать, что эти тепловые колебания, обуславливающие тепловые свойства тела, и колебания электромагнитные, обуславливающие свойства оптические, тождественны. Но тогда входящее в формулы Эйнштейна v можно определить из оптических измерений в ультракрасной части спектра и, следовательно, предвычислить величину теплоемкости. Такие вычисления делались и дали вполне согласные с опытом результаты.

В подобном переносе гипотезы Планка на явления теплового обмена между материальными телами не было в сущности ничего принципиально нового, пока дело шло о колебаниях электрических зарядов-осцилляторов. Но тела с избирательным поглощением в инфракрасной части встречаются довольно редко. Такое тело, как, например, алмаз, совершенно не дает полос поглощения в длинных волнах, как показал Рейн-

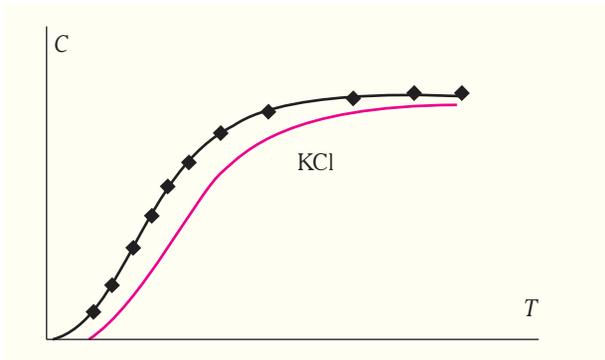


Рис.8.

кобер, а между тем его теплоемкость меняется с температурой по совершенно такому же закону, как и теплоемкость каменной соли и сильвина, имеющих резко выраженное избирательное поглощение в очень далекой красной части спектра. Эйнштейн расширил поэтому гипотезу Планка: он предположил, что эта гипотеза охватывает не только электромагнитные, но и упругие колебания всякой молекулярной системы.

В этом случае мы не можем воспользоваться оптическими способами определения ν . Приходится поэтому искать других средств, и такие средства найдены. Мы можем вычислить ν , исходя из других, не тепловых и не оптических свойств вещества, и подобные вычисления дают результаты, согласные с теорией Эйнштейна. Правда, согласие не так близко, как при оптическом способе, но все же вполне удовлетворительно, если принять во внимание чисто гипотетический характер тех предположений, на которые опираются подобные расчеты.

Предположим, что наш атом совершает в молекуле простые гармонические колебания, т.е. находится под действием силы, прямо пропорциональной расстоянию его от положения равновесия. В таком случае его движение вполне аналогично с движением простого математического маятника, и период его колебаний зависит только от величины силы, управляющей его движением, — направляющей силы, которая, в свою очередь, зависит от массы. Массу атома мы знаем, зная атомный вес вещества, и все дело сводится поэтому к определению направляющей силы. Мы можем понять, что эта сила проявляется, между прочим, в сопротивлении тел сжатию; в самом деле, при сжатии мы выводим атом из его положения равновесия, что и создает противодействующую атому силу. Эйнштейн показал, как можно по величине коэффициента сжатия — коэффициента, характеризующего твердость, — вычислить период колебания атома. Это воззрение было развито далее Бенедиксом и Дебаем, которые показали, что при вычислении теплоемкости нам необходимо считаться не только с молекулярными

колебаниями, но и с колебаниями всего тела, как целого, приближающимися уже к звуковым колебаниям, иначе говоря, считаться с акустическим спектром тела.

Существует еще один способ вычисления ν , предложенный Линдеманом. Он основан, правда, на произвольном, невидимом, допущении, но приводит к хорошим результатам и, что особенно интересно, связывает период колебания атома и, следовательно, теплоемкость, с точкой плавления тела, объясняя таким образом характер вышеуказанных отступлений от закона Дюлонга и Пти.

Кривые, показывающие зависимость теплоемкости от температуры, приведены для сильвина (KCl) на рис.8. Верхняя (сплошная) кривая вычислена по формуле Эйнштейна, измененной Нернстом и Линдеманом; нижняя — по начальной формуле Эйнштейна; крестиками обозначены наблюдаемые Нернстом и Корефом величины. Совпадение, как мы видим, вполне удовлетворительное, а для верхней кривой — превосходное.

Здесь необходимо отметить одно очень важное обстоятельство. Кривые для теплоемкости вблизи абсолютного нуля идут параллельно оси абсцисс, проходя через начало. Это показывает, что при температурах, достаточно близких к абсолютному нулю, теплоемкость тоже близка к нулю и практически не зависит от температуры. Мы имеем очень веские основания заключить, что это очень справедливо и относительно других свойств тела. Подобное заключение было сделано Нернстом; следствия его оказались настолько обширными и важными, что теперь говорят о тепловой теореме Нернста как о третьем законе термодинамики.

В рамках журнальной статьи мы не можем затронуть всех применений гипотезы Планка — Эйнштейна: это могло бы завести нас в недостаточно еще исследованные и доступные только специалисту области науки. Везде, где дело идет об энергии молекулярной системы, эта гипотеза находит себе применение. С элементом энергии, или, как его называют физики, с квантом, мы встречаемся и в теории излучения, и в теории тепла, и в теории строения атома, и в физике обычных тел, вообще во всей молекулярной физике. Достаточно уже и того, что мы могли здесь выяснить, чтобы видеть, как много дала уже эта гипотеза и какие поистине безграничные горизонты она раскрывает перед нами. Правда, для нас все еще загадочна сущность квантов, но мы идем вперед и рано или поздно придем к ее познанию. Вероятнее всего то, что решения загадки надо искать в строении атома. Пока оно для нас тоже неясно, но мы знаем, каким путем мы должны идти в этом направлении, и этот путь приведет нас к истине. Когда это будет достигнуто, исчезнет всякое различие между отдельными частями науки о веществе, все они сделаются ветвями одной всеобъемлющей науки — динамики атома. ■

Новости науки

Астрономия

Атмосферные осадки на Титане

Климат планет часто описывают лишь температурами поверхности. Спутник Сатурна Титан — необычное небесное тело, к которому применимо понятие климата в привычном смысле, так как там существует круговорот жидкого метана, сходный с круговоротом воды на Земле. Там текут метановые реки, а его испарения, конденсируясь, образуют облака, из которых идут метановые дожди. Однако информация о таких дождях на Титане скудна. В то время как яркие метановые облака можно рассмотреть с помощью наземных телескопов, дожди наблюдать значительно труднее. Выпадение осадков изменяет вид поверхности Титана, наблюдаемый зондом «Cassini». Дожди приводят к уменьшению яркости поверхности, и если это происходит после прохождения над рассматриваемым участком крупной облачной системы, то, скорее всего, свидетельствует о выпадении осадков.

В экваториальном поясе Титана наблюдаются сухие русла рек, т.е. в прошлом здесь шли дожди, но до сих пор не было известно, когда в последний раз эти русла заполнялись. Новые данные международной группы ученых позволяют разрешить эту загадку. Существенную роль играет сезон, когда выпадают осадки. Предсказания дождей, полученные с помощью разных моделей, отличаются друг от друга. Однако одна из них прогнозирует сильные тропические ливни после равноденствия. Согласно этой модели, ливни приурочены к сезону, когда тропическая зона конвергенции — область, в которой встречаются ветры,

дующие из северного и южного полушарий, — пересекает экватор. Сезонные сдвиги этой зоны по широте сами по себе не представляют ничего необычного. Но почему на экваторе Титана наблюдаются продолжительные сухие сезоны, в отличие от Земли, где экваториальный климат неизменно влажный? На Земле тропическая зона конвергенции может перемещаться лишь в пределах тропического пояса, так как сильные меридиональные градиенты температур внутри умеренных поясов порождают собственные климатические системы умеренных широт, препятствующие ее дальнейшему сдвигу к полюсам. Поскольку пояс тропических ливней шире, чем его сезонные отклонения, на экваторе дожди продолжают круглый год. Напротив, на Титане тропическая зона конвергенции может перемещаться почти от полюса до полюса, так что она редко находится вблизи экватора. Это драматическое глобальное перемещение — результат медленного планетарного вращения Титана (с периодом 15 сут и 22 ч). Зона конвергенции выходит далеко за тропик Титана (26,7°) и сдвигается к летнему полюсу, чтобы удовлетворять законам сохранения энергии и момента количества движения. Эта картина меняется дважды на протяжении орбитального периода Сатурна (29,5 лет). В последние годы тропическая зона конвергенции Титана предположительно располагалась вблизи южного полюса и теперь движется к северному.

Хотя картина осадков на Титане в целом объясняется глобальной циркуляцией атмосферы, она, как полагают, сильно чувствительна к нескольким малоизученным факторам, таким как влажность поверхности, обилие этана в тропосфере или

химический состав полярных озер. В региональных масштабах рельеф также может сильно влиять на распределение осадков. Недостаточность сведений о многих этих параметрах, а также различие физико-химических свойств метана и воды делает предсказание дождя весьма затруднительным. Отдельный дождь на Титане может привести к выпадению осадков в объеме нескольких сотен миллиметров в течение нескольких часов, но остается непонятным, где и как часто встречаются подобные дожди.

Science. 2011. V.331. P.1414–1416 (США).

Физика

Пули из света

Свет уже не только «проливают», теперь из него можно лить пули — по крайней мере так утверждают С.Минарди (Институт прикладной физики Университета Фридриха Шиллера, Йена, Германия) с сотрудниками, сообщившие о получении оптических волновых пакетов, энергия которых локализована во всех трех измерениях¹.

Импульс света, распространяясь, расплывается в продольном направлении из-за дисперсии среды, а в поперечном — из-за дифракции. В одномерном случае, например при прохождении волны по оптическому волокну, действие дисперсии компенсируется нелинейностью среды и возникает устойчивая уединенная волна — солитон. В трехмерном случае нелинейные эффекты теоретически могут побороть и дисперсию, и дифракцию. Луч света с гауссовым распределением интенсивности по радиусу

¹ Minardi S. et al. // Phys. Rev. Lett. 2010. V.105. P.263901.

изменяет показатель преломления среды таким образом, что набег фаз в центре пучка становится больше, чем на периферии, — подобно тому, как это происходит в собирающей линзе. В результате такой самофокусировки удается скомпенсировать размытие пучка за счет дифракции.

С другой стороны, в области аномальной дисперсии (где велико поглощение, а волны с большей частотой распространяются быстрее) те же нелинейные эффекты зависимости показателя преломления от интенсивности света позволяют импульсу распространяться без дисперсионного расплывания. Однако в обычной среде (вроде стекла) «световые пули» неустойчивы и век их недолог, поскольку тонкий баланс между нелинейными и линейными эффектами может нарушиться при самых небольших вариациях параметров импульса или материала.

Однако то, что невозможно в обыкновенной среде, становится реальным в искусственном материале с модулированным в поперечном направлении показателем преломления. Простейший пример такой среды — пучок оптических волокон, расположенных друг от друга на столь близком расстоянии, что спадающие у их поверхности поля перекрываются: в процессе распространения может происходить перекачка энергии из одного волокна в соседние. Ранее было предсказано, что в таких средах световые пакеты будут устойчивы, однако экспериментальное подтверждение заставило себя ждать более десятилетия.

Группа Минарди изготовила гексагональную матрицу волокон из плавленного кварца длиной 40 мм и диаметром 10 мкм, причем расстояние между волокнами составляло 33 мкм. Только в последнее время удалось получить такую структуру с точностью, необходимой для экспериментов по нелинейному распространению волн. Длину волны используемого излучения (1.55 мкм) подбирали такой, чтобы попасть в диапазон аномальной дисперсии материала.

При небольшой мощности излучения свет распространялся в соседние волноводы — и профиль пуч-

ка расширялся. При мощности импульса больше 1 МВт вступали в действие нелинейные эффекты: световое излучение локализовалось в первоначальном волноводе за счет эффекта самофокусировки, а длительность выходного импульса не отличалась от длительности входного.

<http://perst.iissp.ras.ru> (2009. Т.17. Вып.24).

Энергетика

Вопросы, которые задает Фукусима

Среди множества тревожных новостей о поврежденной атомной электростанции «Фукусима-1» наибольшую озабоченность специалистов по ядерной безопасности вызывают сообщения о бассейне для хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) реактора №4. В этом бассейне охлаждения хранился полный комплект тепловыделяющих топливных стержней, выгруженных из реактора за три месяца до землетрясения и цунами, которые произошли 14 марта. А 15 марта здание энергоблока взорвалось — по-видимому, из-за скопления водорода внутри него, что заставило инженеров гадать об источнике этого водорода. Дополнительную неразбериху вызвали сообщения о пожаре в бассейне с ОЯТ, наихудшем сценарии аварии, до сих пор никогда не реализовавшемся на работающей атомной электростанции.

Чтобы выяснить, что же случилось в бассейне реактора №4, нужно понять, почему уровень воды в бассейне понизился так быстро, и произошло ли, вдобавок к возгоранию, расплавление 230 т ОЯТ. Необходимо также оценить, какое количество радиоактивных веществ могло оказаться за пределами бассейна. Расследуемые события могут пролить свет на опасности, связанные с бассейнами хранения ОЯТ на 350 ныне существующих в мире реакторах. Станут ясны дополнительные меры по обеспечению безопасного хранения ОЯТ в охлаждающих бассейнах.

Пока что крайне высокие уровни радиации препятствуют восстановлению систем энергоснабжения и охлаждения на всех реакторах

электростанции. И хотя из возможно поврежденной активной зоны реактора №3 продолжается утечка высокорadioактивной воды, охлаждающий бассейн реактора №4 остается крупнейшим потенциальным источником радиационного загрязнения. В конце марта столб белого пара продолжал подниматься над остовом взорвавшегося здания четвертого энергоблока, несмотря на продолжающиеся усилия по добавлению воды в охлаждающий бассейн.

Ядерное топливо в реакторе №4 состоит из таблеток оксида урана, помещенных в трубки из циркониевого сплава длиной 4 м. В бассейне находится 1331 топливная сборка; 548 из них были выгружены из реактора в январе в ходе регулярного обслуживания.

Всего на электростанции семь охлаждающих бассейнов, по одному для каждого из шести реакторов и один общий. Они предназначены для двух главных целей: охладить топливо, выделяющее тепло благодаря радиоактивному распаду, и защитить персонал станции от излучения. В реакторах конструкции, использованной в Фукусиме, бассейны находятся не внутри герметичных хранилищ, а открыты и доступны для обслуживания. Работники станции отлично понимают, как важно поддерживать высокий уровень воды в бассейнах. Хотя из бассейна реактора №3, не исключено, тоже выделяется водород, остальные пять бассейнов требовали постоянного добавления воды, но никакой аварийной ситуации в них не возникло.

Одна из загадок бассейна №4 — почему уровень воды в нем упал так быстро. В штатном режиме верхушки топливныхборок находятся на глубине около 7 м в бассейне, содержащем 1470 т воды с температурой около 40°C. Эта вода непрерывно циркулирует, и ее запасы пополняются. Несомненно, что после прекращения электроснабжения температура воды в бассейне должна была монотонно повышаться. Но несколько ученых независимо подсчитали, что потребовалось бы намного больше, чем четыре дня, а именно около трех недель, чтобы

вся эта покрывающая стержни вода испарилась или выкипела.

Мог ли бассейн №4 быть поврежден во время землетрясения, последующего взрыва или обоих этих событий? Среди возможных слабых мест — крупные ворота в одной из стенок бассейна, через которые тепловыделяющие сборки перегружаются под водой из реактора в бассейн. Эти ворота запираются резиновыми уплотнениями, надуваемыми электронасосом. Когда эти уплотнения остались случайно ненадутыми, уровень воды в бассейне реактора аналогичной конструкции в США снизился более чем на метр. Однако инженеры утверждают, что в период обслуживания канал, соединяющий реактор и охладительный бассейн, заполнен водой, так что протечка в этом месте лишь удлинит время опорожнения бассейна.

Еще одна загадка — температура воды в охладительном бассейне. За день до взрыва сообщалось, что вода нагрелась до 84°C. После взрыва никакой информации о температуре воды не поступало. Если предположить, что температура была достаточно высокой, чтобы в бассейне выкипела вся вода, то можно оценить, сколько радиации могло высвободиться при последующих событиях. Однако японское правительство отрицает, что бассейн когда-либо полностью осушался.

После взрыва руководство энергетической компании, эксплуатирующей реакторы, сообщило о по крайней мере одном пожаре в этом охладительном бассейне, а также о, возможно, еще одном пожаре. По данным лабораторных экспериментов известно, что цирконий может гореть, реагируя с водяным паром, а также с кислородом. Обе реакции начинают быстро распространяться при температуре около 800°C. Однако при первой из них, что критично, выделяется водород. Взрыв водорода в здании реактора №4 указывает на реакцию циркония с водяным паром, при которой выделяется меньше тепла и, значит, топливо расплавляется медленнее. Но знание о том, какая из этих двух реакций преобладала, может помочь специалистам количественно оце-

нить, сколько радиоактивных материалов было выброшено в окружающую среду из бассейна №4. Национальный исследовательский совет США изучал в 2006 г. возможные последствия потери воды в охладительном бассейне и пришел к выводу, что отработанное топливо в этом случае может расплавиться, выбросив в воздух летучие радионуклиды, в том числе значительную долю цезия.

В образцах почвы, изученных в конце марта японским министерством науки, обнаружены уровни цезия, эквивалентные примерно 8 млн беккерелей на 1 м² вблизи станции. Эти уровни (если они подтверждаются) выше, чем в окрестностях Чернобыльской станции после катастрофы. В водопроводной воде Японии был также найден радиоактивный йод, но поскольку его период полураспада 8 дней, он не мог происходить из более старого топлива из бассейна №4. Вероятно, его источник — реактор №3. Неизвестно также, какая часть цезия происходит из реакторов, а какая — из бассейна с отработанным топливом. Специалисты надеются, что более подробный анализ позволит определить соотношение изотопов, а значит, и источник этого цезия.

Science. 2011. V.332. №6025. P.24—25 (США).

Биология

Водоросли помешали восстановлению жизни в начале триаса

После самого значительного массового вымирания в геологической истории Земли, произошедшего 250 млн лет назад, водоросли и бактерии в океане размножились так быстро, что поглотили почти весь кислород, растворенный в морской воде. Это замедлило восстановление морской фауны на несколько миллионов лет.

К такому выводу пришла биогеохимик К.Мейер (К.Мeyer; Станфордский университет, США), изучая известняковые утесы в Южном Китае. Эти похотные на башни останцы сложены морскими отложениями начала триасового периода и содержат геологическую летопись

событий, сопровождавших перм-триасовое вымирание и его последствия, вызвавшие глубокие разрушения биосферы. При этом вымерло 90% видов морских животных, а также подавляющее большинство видов наземной растительности, животных и насекомых.

Причины этой биосферной катастрофы пока не вполне ясны, но большинство палеонтологов связывают ее с массивным вулканизмом в Восточной Сибири. Излившаяся лава покрыла здесь значительные площади, что сопровождалось выбросом в атмосферу огромных количеств углекислого газа, метана, водяного пара и вулканического пепла, что могло изменить климат благодаря парниковому эффекту и нарушить биогеохимические циклы в планетарном масштабе. В частности, резко усилилась эрозия поверхности суши из-за повышения кислотности дождевой воды и соответственно усилился вынос в океан биогенных элементов. Это, в свою очередь, вызвало вспышку размножения одноклеточных морских водорослей. Содержание кислорода в морской воде упало и оставалось низким на протяжении примерно 5 млн лет, что замедлило восстановление биосферы на необычно продолжительный срок.

Причины столь длительной аноксии долгое время оставались непонятными, но теперь, похоже, ученые из Станфордского университета разобрались в том, что произошло. Изучая химический состав известняковых морских отложений, образовавшихся в ходе восстановления биосферы после массового вымирания, они определили, что большинству морских экосистем потребовалось несколько миллионов лет на восстановление. Но крохотные одноклеточные водоросли и бактерии оправились от шока гораздо быстрее. Они не только быстро достигли докризисного уровня, но и намного превзошли его, в буквальном смысле перекрыв кислород многоклеточным животным, потребность которых в этом элементе намного выше, чем у бактерий.

Отмирая, водоросли обогащали морскую воду органическим веществом, разложение которого аэроб-

ными бактериями быстро изымало из морской воды почти весь кислород. Подобные явления наблюдаются и ныне в пресноводных водоемах, если туда попадают удобрения с полей или навоз из животноводческих хозяйств: вслед за вспышкой размножения водорослей следует их отмирание и гниение, и содержание кислорода в воде падает до столь низкого уровня, что все многоклеточные животные погибают.

По мнению Мейер, причиной продолжавшейся миллионы лет вспышки размножения водорослей был массивный выброс в атмосферу углекислого газа в ходе траппового вулканизма, приведший к потеплению климата, усилению эрозии суши, эвтрофикации океана и, в конечном счете, к аноксии морской воды. Глобальное биогеохимическое равновесие восстановилось лишь после того, как весь избыточный углекислый газ был захоронен в мощных слоях донных отложений известняков. При этом от самих водорослей и бактерий в этих отложениях ничего не осталось, так как они не сохраняются в виде окаменелостей. Об их прежнем обилии свидетельствуют лишь косвенные показатели, такие как изотопный состав углерода известняков. Все живые существа предпочтительно включают в состав своих тел легкий изотоп углерода, ^{12}C , тогда как более тяжелый ^{13}C , также присутствующий в морской воде, остается в ней в растворенном виде. Известняковая летопись отражает этот изотопный состав морской воды, и там, где жизнь более обильна, известняки обогащены тяжелым изотопом углерода. Современные аналоги триасовых известняков — мелководные районы Карибского моря у Багамских островов, где формируются похожие карбонатные платформы, — обычно избилуют жизнью в том диапазоне глубин, где отлагались изученные группой Мейер триасовые известняки. В этих биотопах отношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ мало меняется с глубиной.

Однако микроорганизмы, как правило, наиболее обильны на мелководьях, так что если морская биота в эпоху после массового вымирания ограничивалась в основном

бактериями и водорослями, то мелководья должны были отличаться заметно большим отношением $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, чем отложения на более глубоких участках дна.

Исследования группы Мейер выявили разницу в примерно четыре части на тысячу в отношении тяжелого и легкого изотопов углерода между мелководьями и глубокой водой, что примерно вдвое больше, чем в современную эпоху. Подобный градиент присутствует в известняковых отложениях лишь периода между массовым пермь-триасовым вымиранием и восстановлением морской фауны.

Earth and Planetary Science Letters.
2011. V.302. №3—4. P.378—384.

Экология

Амфибонтные насекомые Барабы — мост между экосистемами

Бараба — лесостепная низменность площадью около 117 тыс. км² в Обь-Иртышском междуречье со своеобразным гривно-котловинным рельефом. Многочисленные узкие гривы высотой 4—12 м и протяженностью до нескольких километров разделены обширными понижениями или замкнутыми котловинами с озерами, болотами и тростниковыми зарослями — займищами. Водоемами занято более 10% территории Барабинской низменности. Эта особенность создает условия для процветания здесь водных беспозвоночных, и особенно амфибонтных насекомых, которые связаны с водной средой на стадии развития, предшествующей формированию взрослой особи. Амфибонты доминируют по биоразнообразию (более 120 видов), плотности и биомассе (60—95%) среди беспозвоночных во всех водоемах Барабы (кроме сильно минерализованных).

Гривный рельеф Барабинской низменности способствует быстрому промыванию склонов талыми и дождевыми водами, что приводит к сносу минеральных компонентов почвы в понижения, занятые водоемами. По мнению сотрудника Института систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск)

А.Ю.Харитонов, единственный процесс, компенсирующий вынос элементов, — возврат вещества на сушу за счет вылета из водоемов взрослых насекомых. Этот процесс весьма значителен — усредненная биомасса водных фаз амфибонтов в водоемах Барабы составляет около 2 г/м² в сыром весе. Суммарный вынос вещества амфибонтными насекомыми на сушу в масштабах всей низменности оценивается сотнями тысяч тонн. Он составляет основу многих трофических цепей, связывающих водные и наземные экосистемы.

Материалы VIII совещания энтомологов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 2010. С.206 (Россия).

География

Лавинный риск для населения горных районов России

В научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова разрабатываются методики, позволяющие оценивать риск и возможный ущерб от опасных природных процессов для местного населения и туристов, а также различного вида защищаемых объектов — автомобильных дорог, транспортных средств и т.п. В работе Ю.Г.Селиверстова, А.Л.Шныпаркова и Г.Г.Глазковой представлены результаты оценки полного социального и индивидуального лавинного риска для населения горных регионов страны, которая выполнялась с использованием специально разработанной методики расчета и картографирования в мелком масштабе; за основу был взят метод оценки риска от карста.

Под лавинным риском авторы понимают вероятность потерь вследствие воздействия снежных лавин за определенное время на конкретной территории. Учитываются как геофизические характеристики (параметры лавинного режима), так и социальные показатели. Источником снеголавинной информации служили лавинные карты Атласа

снежно-ледовых ресурсов мира, а данные о населении лавиноопасных районов были взяты из Всероссийской переписи населения 2002 г. Расчеты проводились отдельно для горных районов каждого федерального округа России. Территорию района разбивали на квадраты со стороной 3 км и для каждого последовательно рассчитывали ряд показателей: уязвимость населения во времени (длительность нахождения в опасном месте); уязвимость в пространстве (определяется подверженностью территории воздействию снежных лавин); полный социальный лавинный риск (среднее количество погибших за год); индивидуальный лавинный риск (вероятность гибели произвольного индивида из некоторой совокупности людей за год).

В соответствии с рекомендациями МЧС РФ на картах лавинного риска выделены три зоны с разным уровнем индивидуального риска. «Приемлемый уровень» имеют территории с риском менее $1 \cdot 10^{-6}$; в этих случаях безопасность населения обеспечивается в основном организационно-хозяйственными мероприятиями. «Допустимый уровень» ($1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$) имеют районы, где развитие инфраструктуры возможно, но требует значительных затрат на профилактические мероприятия. «Неприемлемый уровень» (более $1 \cdot 10^{-4}$) характеризует районы, где для существующих объектов необходим весь спектр противолавинных мероприятий, а строительство новых объектов не допускается.

Согласно расчетам, полный социальный риск составил, к примеру, на Сахалине 26 погибших за год, на Кавказе — 47. Это самые лавиноопасные районы страны. Причем на Кавказе около половины жертв — туристы. На Сахалине высокие значения индивидуального риска наиболее характерны для участка вдоль западного побережья. Хотя лавины здесь небольших объемов, однако в этой зоне находятся транспортные магистрали, ЛЭП и населенные пункты. Здесь же отмечаются участки с неприемлемым уровнем индивидуального риска; максимальный ($4 \cdot 10^{-3}$) получен для г.Синегорска.

На территории России большая часть лавиноопасных территорий находится в зоне приемлемого риска (около 85% общей лавиноопасной площади страны). В зоне допустимого индивидуального риска — около 15% территории Сахалина; к районам с неприемлемым уровнем на Дальнем Востоке относятся города Петропавловск-Камчатский и Магадан. На Кавказе территории с приемлемым уровнем риска составили 41% площади всех лавиноопасных районов, с допустимым — 52%, неприемлемым — 7%. Для крупнейших горнолыжных курортов — Красной Поляны, Домбая, Приэльбрусья, района Транскавказской магистрали характерен неприемлемый уровень риска.

В целом на территории России преобладают районы с приемлемым уровнем риска, что в первую очередь определяется их низкой заселенностью. Жители лавиноопасных районов составляют около 6,2 млн человек, плотность населения в них — менее 2 чел./км². Однако среднее значение индивидуального лавинного риска для России равно $5,6 \cdot 10^{-6}$, что соответствует уровню допустимого риска.

Лед и снег. 2010. №4(112). С.41—44 (Россия).

Палеонтология

Птерозавр из раннего сеномана Поволжья

На территории европейской части России остатки птерозавров исключительно редки в морских и прибрежных отложениях начала позднего мела (сеноман). Все прежние находки относились к семейству Ornithocheiridae и определялись как *Coloborhynchus sp.* и *Ornithocheiridae indet.* А.О.Аверьянов (Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург) и Е.Н.Курочкин (Палеонтологический институт им.А.А.Борисяка РАН) сообщают об открытии в сеномане Европейской России другой группы птерозавров — семейства *Lonchodectidae*, которое известно лишь по редким остаткам из отложений мелового периода Англии.

Находка, сделанная в 2009 г. одним из авторов на местонахожде-

нии Меловатка-3 в Жирновском р-не Волгоградской обл., представляет собой передний фрагмент зубных костей небольшого птерозавра. Местонахождение расположено на правом берегу р.Медведицы и приурочено к обнажению желтых песков с прослоями фосфоритов. По фауне беспозвоночных этот костеносный фосфоритовый горизонт датируется ранним сеноманом. Среди представителей фауны присутствуют также остатки разнообразных, преимущественно водных, позвоночных (хрящевых и костных рыб, завроптеригий), а также птиц. Ранее здесь были обнаружены фрагменты плечевой и бедренной кости довольно крупного птерозавра, определенного как *Ornithocheirodea indet.* Новая находка остатков птерозавра передана на хранение в Палеонтологический институт РАН.

Птерозавры семейства *Lonchodectidae* известны по редким фрагментам челюстей и некоторым посткраниальным фрагментам, обнаруженным в отложениях валанжина — сеномана Англии. Семейство содержит единственный род — *Lonchodectes* с видами *L.compressirostris*, *L.microdon*, *L.platystomus* и *L.giganteus*. Среди диагностических признаков рода отмечены приподнятые кромки челюстей, мелкие, примерно равные по размеру зубы, разделенные существенными промежутками, киль на вентральной стороне рострума, которому соответствует борозда на симфизе зубных костей. Все эти признаки присутствуют на фрагменте челюсти птерозавра из Меловатки-3, что и позволяет уверенно отнести его к данному роду.

Lonchodectes sp. из Меловатки-3 — не только первая находка рода и семейства на территории России, но и вообще первая находка этой группы за пределами Англии. Благодаря ей расширяется представление о таксономическом разнообразии и географическом распространении птерозавров в сеномане Европейской России, пока еще изученных весьма слабо.

Палеонтологический журнал. 2010. №6. С.94—96 (Россия).

«Он жил для науки»

Е.Б.Музрукова,

доктор биологических наук

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

Написать биографию ученого, открытия которого известны во всем мире, признанного классика биологии, о котором знают многие, очень нелегко. Имя Бэра уже давно стало достоянием истории. Его научные интересы были чрезвычайно разнообразны, а многие идеи и в настоящее время звучат вполне современно.

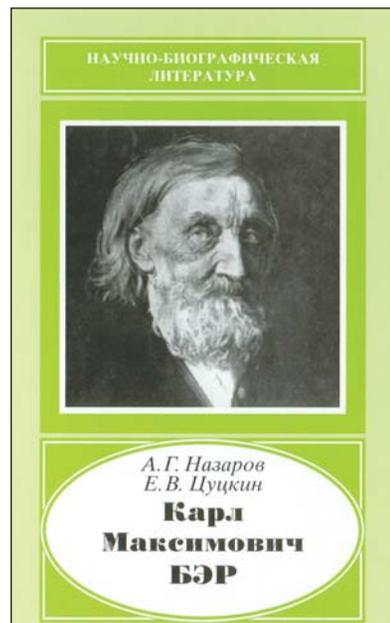
Когда-то В.И.Вернадский назвал Бэра «великим мудрецом», и эта высокая оценка не преувеличена. Только такие личности остаются в истории на все времена. Влияние Бэра выходит далеко за пределы сделанного им в науке. Физиолог Ф.В.Овсянников, хорошо знавший Бэра, в 1879 г. писал: «Он жил для науки, для отечества, для цивилизации. Он не был коренным русским, но редко приходилось встречать людей, которые были бы так преданы России, ее интересам, как он». Имя Бэра украшает список «русских немцев» (таких, как Крузенштерн и Беллинсгаузен), для них Россия стала Отечеством, которому они служили.

Что отличает эту книгу от других биографий ученого? Основная ее задача — это показать Бэра не только как основателя классической эмбриологии, но и как выдающегося естествоиспытателя, географа, эколога, антрополога и родоначальника нового, «бэровского», периода (начиная с 40-х годов XIX в.) в географии. Этот период харак-

теризуется, по мнению авторов, комплексной методологией. Такой необычный угол зрения, как справедливо считают авторы, не является традиционным, и, чтобы стать доказательным, он потребовал от них скрупулезного анализа огромного рукописного массива географических работ Бэра — неизданных, непереведенных и практически неизвестных широкому научному сообществу (с.9), и, соответственно, затраты огромных усилий и времени. Основному авторскому замыслу подчинена и структура рецензируемой монографии. Она состоит из двух частей, куда входят 6 глав и 11 приложений. Монография снабжена прекрасным научно-справочным аппаратом.

В первой главе части I «Становление личности ученого-естествоиспытателя» дан исчерпывающий анализ основных источников, использованных при написании книги. Сюда входят: библиография трудов Бэра, его архивы, каспийский «Дневник пути», эпистолярное наследие, анализ уже изданных биографий. Авторам удалось изучить множество публикаций и документов. Этот анализ позволил им обоснованно утверждать, что в научном наследии Бэра есть еще белые пятна, связанные с его путешествиями, с познанием тайн Природы и одновременно с желанием принести пользу своими исследованиями.

Отрадно, что список источников приведен не просто формально, как перечисление трудов



А.Г.Назаров, Е.В.Цуцкин.

КАРЛ МАКСИМОВИЧ БЭР.

1792—1876.

М.: Наука, 2008. 538 с. (Из сер. «Научно-биографическая литература».)

ученого и работ о нем, что позволило перейти к анализу предпосылок формирования у Бэра страсти к путешествиям и интереса к проблемам географии. Этому посвящена вторая глава части I — «Формирование чувства природы — из детства и юности». Именно впечатления раннего детства, по мнению авторов, развили у Бэра живой интерес и любовь к природе (с.85). Они отмечают, что формирование «чувства природы» происходит в детстве, «но не каждому, как Карлу Бэру, дано пронести, не расплескав, этот интерес и любовь через всю жизнь» (с.86).

Наиболее ярко любовь к природе проявилась в постуниверситетский период, когда Бэр жил в Германии. Здесь он окончательно порвал с нелюбимой им практической медициной и занялся сравнительной анатомией. От нее он перешел впоследствии к общим вопросам происхождения жизни, развитию живой материи. Исследовательский опыт Бэра, как считают авторы, стал фундаментом для формирования скрытой линии его исследований — биогеографической и космобиосферной.

Отрадно, что в книге очень глубоко отражен важнейший «кёнигсбергский этап» (1817—1834) жизни Бэра в третьей главе — «Мечты, успех и драма Кёнигсберга». Этот период в его жизни был насыщен разнообразными событиями. Именно тогда Бэр сделал свои выдающиеся эмбриологические открытия. Авторы приводят интересные архивные источники — письмо Бэра адмиралу И.Ф.Крузенштерну, письмо адмиралу Ф.П.Литке и два его ответных письма, а также переписку с О.М.Грюневальдом. Эти материалы показывают, что уже в 20-х годах 19-го столетия молодой Бэр хотел организовать экспедицию на север, что удалось ему сделать только через 17 лет (экспедиция на Новую Землю).

Кёнигсбергский период был важен и тем, что тогда сфор-

мировались методологические принципы исследований Бэра. Основы его научной методологии хорошо сформулировал в свое время Л.Я.Бляхер — наблюдение и размышление [1]. Эти постулаты стали подзаголовком классического труда Бэра «История развития животных» [2]. Авторы полагают, что приоритеты «наблюдений, постановки опытов над природой с целью получения достоверных данных и их последующего теоретического обобщения наиболее последовательно были реализованы в географических экспедиционных исследованиях Бэра» (с.138).

Мне это утверждение кажется спорным. Не следует противопоставлять эмбриологические открытия Бэра и его географические исследования или умалять одни за счет других. Они, безусловно, тесно связаны, но надо иметь в виду, что именно классические эмбриологические работы Бэра, его поистине уникальная способность видеть и анализировать факты (при отсутствии хорошей оптической техники) сделали его великим эмбриологом. Кроме него в то время подобные открытия в эмбриологии вряд ли мог сделать кто-либо еще. Очень хорошо понял идеи Бэра В.В.Бабков (1946—2006), рано ушедший из жизни. Он впервые выделил «линию Бэра» и «линию Дарвина» в отечественной теоретической биологии [3]. Он сконцентрировал внимание на мировоззрении Бэра, его понимании истории творения как основного предмета естествознания. При этом Бабков рассмотрел телеологические идеи Бэра как основу его методологии, проанализировав все этапы его творчества. А.Г.Назаров и Е.В.Цуцкин сознательно избегают «углубляться в неясные и спорные моменты толкования сложных бэровских смыслов» (с.151). В самом начале работы они отметили, что «не считают возможным следовать традиции рассматривать творчество Бэра с позиций

соответствия или несоответствия эволюционной теории Ч.Дарвина» (с.9). но кратко они все-таки сделали это в восьмой главе (с.443—452). Считаю, что в данном случае можно было сослаться на прекрасный анализ эволюционных воззрений Бэра, данный В.И.Назаровым в его последней монографии [4]. Это только украсило бы капитальный труд авторов, сделало бы его еще более полным.

Напомним, что согласно Бэру, эволюция носит целенаправленный характер и управляется особой силой — стремлением к совершенству. Ведущей, по Бэру, называется имманентная телеология, которой он пытался объяснить и процессы онтогенеза (закон Бэра). Телеологическая трактовка эволюции и онтогенеза, защищаемая Бэром, опиралась на традиции немецкой классической философии, которая считала телеологию внутренних целей одним из ведущих факторов развития вообще. И хотя в качестве фактора индивидуальной изменчивости Бэр придавал большое значение влиянию на организм условий существования, в историю эволюционных идей он вошел как родоначальник особого направления, сторонники которого считают, что главное значение имеют не внешние, а внутренние факторы. Ярчайшим представителем этого направления в XX в. стал П.Тейяр де Шарден. Теорию Дарвина Бэр рассматривал в целом как интересную, но еще не доказанную гипотезу, в которой целесообразность объясняется сцеплением случайностей. В самой постановке вопроса о телеологической трактовке онтогенеза Бэр выступал, в сущности, не против «Происхождения видов» Дарвина, а, скорее, против «Всеобщей морфологии» Э.Геккеля и его биогенетического закона [5]. Сам Дарвин не очень-то жаловал «немецкий» дарвинизм.

Вторая часть монографии названа «Момент истины академика К.М.Бэра». Это централь-

ная часть книги, которая посвящена подготовке и проведению комплексных географических исследований в петербургский период жизни ученого и их значению для науки. В пятой и шестой главах проведен скрупулезный анализ его географических работ. Впервые в историко-научной литературе дана периодизация этапов и подэтапов такой насыщенной географической деятельности. Это, безусловно, важнейшая часть книги. Также показано теоретическое и прикладное значение исследований самого Бэра. Например, изучение быта и культуры народов Калмыцкой степи, описанное в пятой главе, подвигло Бэра к проведению этнографических и антропологических исследований, что имело свои последствия. Путешествуя по разным местам России, он не только совершал научные открытия, но и делал определенные практические выводы (в частности, им были написаны «Предложения для устройства каспийского рыболовства»). Благодаря рекомендациям ученого улов рыбы в Каспии стал приносить существенный доход России: к 1895 г. — 30 млн руб. ежегодно. С 1840 г. он начал издавать журнал при Академии наук под названием «Материалы к познанию Российской империи». Рассматривая закон Бэра об асимметрии русла рек, который сам ученый объяснял вращением Земли, авторы приводят слова В.И.Вернадского о том,

что этот закон имел огромные последствия и был более важным, чем думал сам Бэр. Страсть к путешествиям была у Бэра неуемной и сопровождала его всю жизнь.

Понимая значение научной географии для такой огромной страны, как Россия, Бэр в 1848 г. стал одним из учредителей, членом совета и председателем этнографического отдела Географического общества. Основной задачей он считал работу по антропологической географии и описание малоизученных народностей, живущих на территории России. Увлечение идеями Бэра, который настаивал на видовом единстве человечества, подтолкнуло замечательного ученого-путешественника Н.Н.Миклухо-Маклая совершить экспедицию на берега Новой Гвинеи. Эта экспедиция прославила его имя.

В петербургский период своей деятельности Бэр неоднократно выступал с публичными лекциями и речами. Большое значение имели его речи «Взгляд на развитие наук» на годовом заседании Академии наук в 1836 г. и «О наиболее верном взгляде на живую природу и о применении этого взгляда к энтомологии». Эта речь была произнесена им 10 мая 1860 г. при открытии Русского энтомологического общества, первым председателем которого был избран Бэр [6].

В заключительной части книги авторы анализируют масш-

таб личности Бэра и его стремление объединить макрокосм — развитие природы вообще, и микрокосм — развитие отдельных организмов. Это была, по их мнению, «двуединая тенденция во всеобщем принципе закона развития Бэра» (с.335). Надо отметить, что материал по экспедициям Бэра прекрасно иллюстрирован, и читатель имеет возможность увидеть тот природный ландшафт, те этнографические типы, которые видел и изучал сам Бэр.

Сама монография по-своему уникальна. Впервые в истории биологии личность Бэра представлена в двух ипостасях: Бэр-географ и этнограф, и Бэр-эмбриолог. Причем акцент сделан на первой, что и было главной задачей авторов. Это, безусловно, их большая заслуга. Прделана громадная работа, которая заслуживает всяческих похвал.

Мне, например, как историку эмбриологии, стало понятно, почему полярный исследователь А.Ф.Миддендорф именем Бэра назвал один из островов в Таймырском заливе. Это тот самый остров, с которого другой полярный исследователь, Э.В.Толль, видел загадочную землю Санникова. Именем Бэра назван мыс на Новой Земле, про которую ученый говорил, что это самое счастливое место на Земле, потому что там нет чиновников. Как видим, и здесь он оказался созвучен современности. ■

Литература

1. Бляхер Л.Я. История эмбриологии в России с середины XVIII до середины XIX в. М., 1955. С.159—294.
2. Бабков В.В. Линия Дарвина и линия Бэра в русской теоретической биологии // Современные концепции эвол. генетики. Новосибирск, 2000. С.33—59.
3. Бэр К. История развития животных. Наблюдения и размышления. Т.1. М.; Л., 1950.
4. Назаров В.И. Эволюция не по Дарвину: смена эволюционной модели. М., 2005. С.181.
5. Baer K.von. *Reden geb. Versammlungen und kleinere Aufsätze vermischten Inhalts*. Bd.2. St.-Petersburg, 1876.
6. Музрукова Е.Б. Великий мудрец (очерк жизни и деятельности К.М.Бэра) // Выдающиеся отечественные биологи. СПб., 1996. С.8.

История науки

МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ:
100 лет со дня рождения. Сост.:
Г.Н.Езерова, Ю.П.Попов, М.А.Лукичев.
Ярославль; Рыбинск: ИПМ
им.М.В.Келдыша РАН;
ООО Изд-во «РМП», 2011. 343 с.

Выдающийся ученый и организатор науки, трижды Герой Социалистического Труда академик Мстислав Всеволодович Келдыш (1911—1978) хорошо известен в нашей стране и за рубежом как один из руководителей программы освоения космоса, как математик и механик, определивший своими работами ряд новых направлений в науке. Будучи президентом АН СССР (1961—1975), он внес существенный вклад в фундаментальные и прикладные исследования.

Практически вся деятельность Келдыша проходила под грифом «секретно». Его работа по организации космических исследований в нашей стране долгое время оставалась безымянной — журналисты лишь окрестили его «Главным теоретиком космонавтики». И было за что. Первый спутник Земли, первый полет человека в космос, запуск космических аппаратов к Луне и планетам Солнечной системы, фотопанорамы с поверхности наших ближайших соседей по космосу и множество других достижений — это результат глубоко продуманной стратегии изучения и освоения космического пространства.

Келдышу довелось работать в различных научных учреждениях: Центральном аэрогидродинамическом институте им.Н.Е.Жуковского, Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова, Математическом институте им.В.А.Стеклова АН СССР, НИИ-1 (ныне Исследовательский центр

им.М.В.Келдыша). Но любимым детищем Мстислава Всеволодовича был Институт прикладной математики (ныне носящий его имя), который он создал в 1953 г. и которым руководил последние 25 лет своей жизни.

Книга представляет собой альбом, собранный из фотографий Келдыша, сделанных в разное время в различных обстоятельствах и расположенных в хронологическом порядке. Отдельные этапы его биографии представлены более или менее подробно. Фотографии перемежаются фотокопиями газетных страниц и некоторых документов, что позволяет передать краски эпохи. Сюда же вошли фрагменты воспоминаний современников, опубликованные ранее.

Археология

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ.
1991—2004. ЕВРОПЕЙСКАЯ РОССИЯ.
Отв. ред. Н.А.Макаров. М.: Институт
археологии РАН, 2010. 476 с.

В этой книге собраны статьи, рассказывающие о самых важных находках полевой археологии в Европейской России за полтора последних десятилетия. Сложное время, экономические и политические условия которого менее всего способствовали организации раскопок, отмечено, тем не менее, выдающимися успехами в археологии, одни из которых получили широкий резонанс, а другие известны лишь специалистам. Перелистывая статьи, включенные в сборник, читатель рассматривает разновременные пласты древностей, двигаясь в обратном порядке — от эпохи камня к новому времени.

Пласт материалов, составляющих нижние горизонты этой стратиграфической колонки, дают статьи об изучении палеолитических памятников, характеризующих древнейшие этапы расселения человека на территории Европейской России. Широко известность получили раскопки Зарайской стоянки, ставшей важным полигоном для изучения культурных процессов позднепалеолитического времени, адаптации населения к суровым условиям валдайского оледенения и возможной преемственности восточнославянских и раннемезолитических традиций.

Среди многочисленных мезолитических памятников особый интерес представляют торфяниковые стоянки с хорошо читаемой стратиграфией культурных отложений и прекрасной сохранностью органических материалов.

Бронзовый век представлен лишь несколькими статьями (например, об открытии Каргалинского горно-металлургического комплекса на Южном Урале), позволяющими представить характер этой эпохи.

Существенный блок материалов составляют публикации о погребальных памятниках скифского и сарматского времени, исследованных на юге России. Средневековые древности изучены археологией значительно полнее, но и здесь музейные собрания дополнены редкими образцами художественного ремесла.

Многие из этих открытий стали возможны благодаря внедрению новых приемов разборки культурного слоя, привлечению естественных наук к анализу и интерпретации находок полевой археологии.

На обложке — Старая Ладога. Сопка IX—X вв. и церковь Иоанна Предтечи.

В конце номера Геология в школе: раньше и сейчас

Е.Б.Трейвус,
кандидат геолого-минералогических наук
Санкт-Петербургский государственный университет

Школьное образование начало складываться в нашей стране при Екатерине II в 1780-х годах [1]. В то время стали создавать сеть народных училищ (четырёхклассных), начали подготовку профессиональных педагогов, написали школьные учебники. В 1786 г. для этих училищ был издан первый российский учебник по естественной истории [2]*. Его автор на титульном листе не указан, однако библиографам он известен. Это Василий Федорович Зуев, академик Российской АН и профессор естественной истории в учебном заведении для подготовки учителей [3, 4]. Его учебник состоит из двух книг. В первую включены разделы: «Ископаемое царство» (геология) и «Прозябаемое царство» (ботаника). Вторая книга посвящена «Животному царству» (зоология). Описание «Ископаемого царства» занимает 50 страниц, ботаники — 190. Во втором томе — около 220 страниц.

Раздел, посвященный геологии, состоит из отделов: I. О землях; II. О камнях; III. О солях; IV. О горючих веществах; V. О полуметаллах; VI. О металлах. Он имеет «Примечание: О каменоломнях» и «Прибавление: О горах». В *земли* входили: почва, торф, глина, песок. В *камни* — горные породы и ряд минералов, в первую очередь драгоценных. Колчедан попал почему то в *горючие вещества*. Это, вообще говоря, два сернистых соединения, одно — меди, другое — железа, причем оба негорючие. Да и их название «колчедан», которое идет от русских горщиков, в науке сейчас отсутствует. По отзыву академика П.С.Палласа — современника В.Ф.Зуева, этот труд превосходил все тогдашние иностранные руководства по данному предмету. Обращает на себя внимание отсутствие в нем объяснений описываемых фактов, что представляется шагом назад по сравнению с изложением геологии в трудах М.В.Ломоносова, стремившегося найти причины всех явлений. Впрочем,

указанный недостаток характерен и для некоторых других, более поздних учебников.

Преподавание в предисловии к руководству Зуева предлагалось вести следующим образом. Учитель читает вслух очередной параграф. Затем спрашивает учеников, что они поняли. Если не поняли — чтение повторяется.

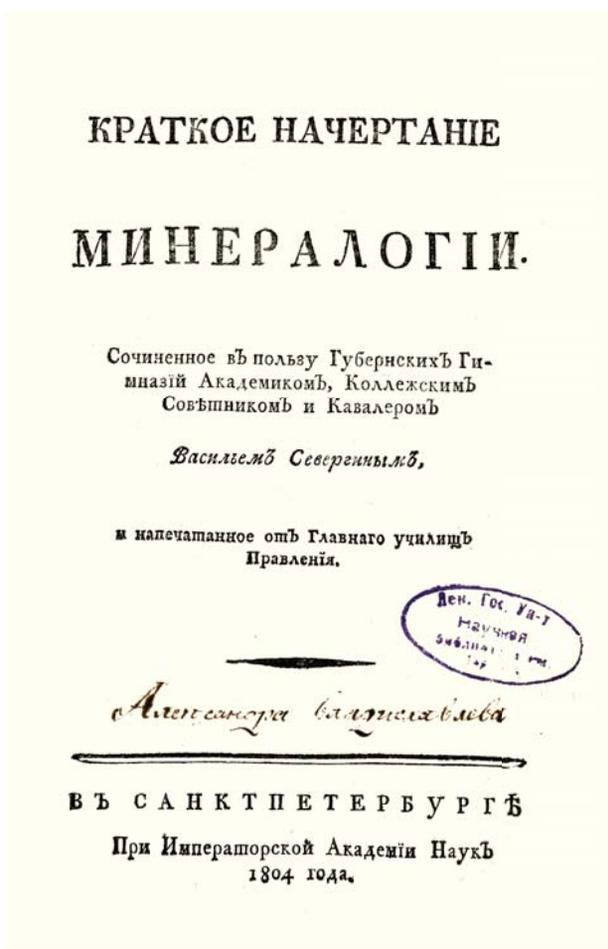
Каждое училище должно было иметь в качестве наглядных учебных пособий «собрание... в своей натуре (т.е. коллекции образцов. — *Е.Т.*) или по крайней мере на картине» (т.е. изображения того, о чем идет речь на уроке). В предисловии к этому учебнику написано: «Да примется за познание своих произведений, которые следовательно наипервое и должны быть собраны», а также учебное заведение призывалось к обмену своими находками с другими училищами.

В 1804 г. при создании в России гимназий в их программы была введена минералогия, для преподавания которой академик В.М.Севергин написал учебник [3]. Это миниатюрная книга в 132 страницы, представляющая собой определитель минералов по их внешнему виду — цвету, «лоску» (блеску, хотя встречается и собственно слово «блеск»), характеру излома и форме кристаллических выделений. Для некоторых минералов указывается их «крепость», т.е. твердость. Так, указывается, что апатит «крепче селенита, но мягче плавика». (Последний в дальнейшем назывался плавиковым шпатом, а сейчас говорят иначе: флюорит. Это — фторид кальция.)

В целом учебник Севергина производит в настоящее время противоречивое впечатление. С одной стороны, он удивляет многочисленностью минералов, которые уже к началу XIX в. научились различать, причем практически только по внешнему виду. Однако, с другой стороны, бросается в глаза и то, как еще неразвита была минералогия теоретически (наивность классификации минералов, их смешение с горными породами, беспомощность в описании кристаллических форм и т.д.). В этом смысле показательны сведения о химическом составе минералов. Например, для целестина (сульфата стронция) указано, что он «состоит из стронциановой земли и купоросной

© Трейвус Е.Б., 2011

* Со старинными учебниками удалось ознакомиться в отделе редких книг Научной библиотеки Санкт-Петербургского университета.



В.М.Севергин. Краткое начертание минералогии. 1804 г.

Руководство к минералогии для русских гимназий. Сост. Э.Гофман. 1853 г.

кислоты». Или написано, что «горькая, или аглинская, соль состоит из серной кислоты и тальковой земли, или магнезии»*. Из этого видно, что химические элементы в то время еще отождествляли с «землями», т.е. оксидами, хотя кислород был уже открыт около 1770 г.

Иллюстраций в упомянутых книгах еще нет. К 1820 г. гимназии уже обладали минеральными коллекциями, содержащими многие сотни образцов [1]. Так, в Псковской гимназии имелся 781 штучф.

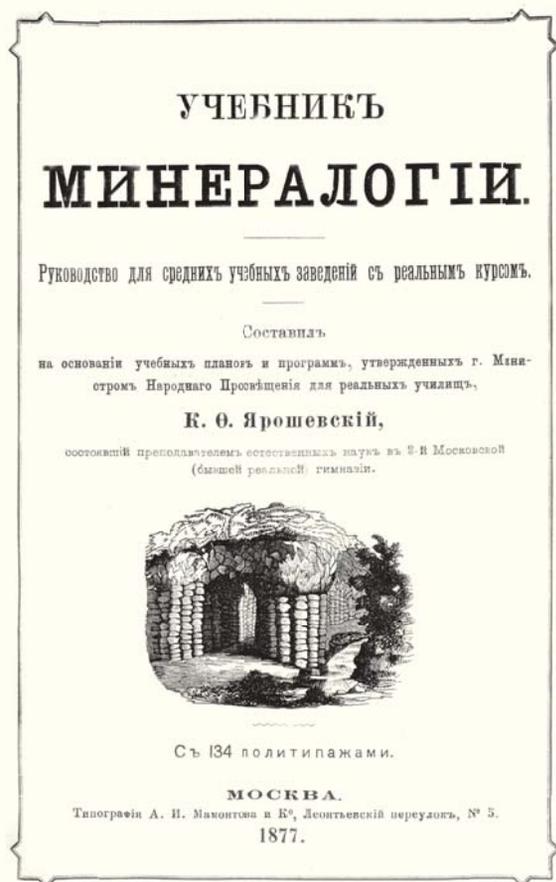
В отношении рудных минералов в его учебнике указывается, какой металл или полуметалл можно из них извлекать. Книга имеет три Приложения: описание «сложенных» (состоящих из нескольких минералов) горных пород, чрезвычайно скудные данные о животных окаменелостях и «технологическую таблицу», включающую сведения об использовании тех или иных камней в прикладных целях.

В первой половине XIX в. преподавание геологии сводилось к минералогии [4]. Занятия по ней, являвшейся частью многолетнего курса естественной истории, проводились в предпоследнем (VI) классе гимназии в течение всего учебного года (11 ч в неделю).

Как учебник книга Севергина — пример неудачный. К ней можно отнести общее заключение об учебных пособиях того времени: «вместо того чтобы развить умственные силы учащихся, обременяло только их память и приносило более вреда, чем пользы» [1].

В середине XIX в. был создан новый учебник по минералогии [5], на титульном листе которого указано, что его автор Э.К.Гофман — «полковник корпуса горных инженеров и профессор минералогии и геогнозии при Императорском Санкт-Петербургском университете». Первая часть этой книги посвящена кристаллографии. Далее следуют разделы о физических свойствах минералов и их химическом составе. Был дан список известных к тому времени химических элементов с их нотацией, почти во всех случаях совпадающей с современной. Однако здесь упоминаются и два загадочных для нас элемента — ильмений

* Это минерал эпсомит, семиводный сульфат магния. Магнезией называли оксид магния.



Учебник по минералогии. Сост. К.О.Ярошевский. 1877 г.

и пелопий, отвергнутых, очевидно, в дальнейшем как несуществующие. Последним разделом идет систематическое описание отдельных минералов, в следующем порядке:

— металлические минералы, которые рассматривались по металлам, причем для каждого из них описывались самородные элементы, сульфиды и окислы;

— неметаллические минералы, куда входили простые тела, соединения с кислородом (в том числе силикаты), соли, солероды (каменная соль, апатит, плавиковый шпат);

— органо-химические минералы (уголь и янтарь). Заметим, что современной классификации минералов это совершенно не соответствует, а уголь и янтарь не считаются минералами.

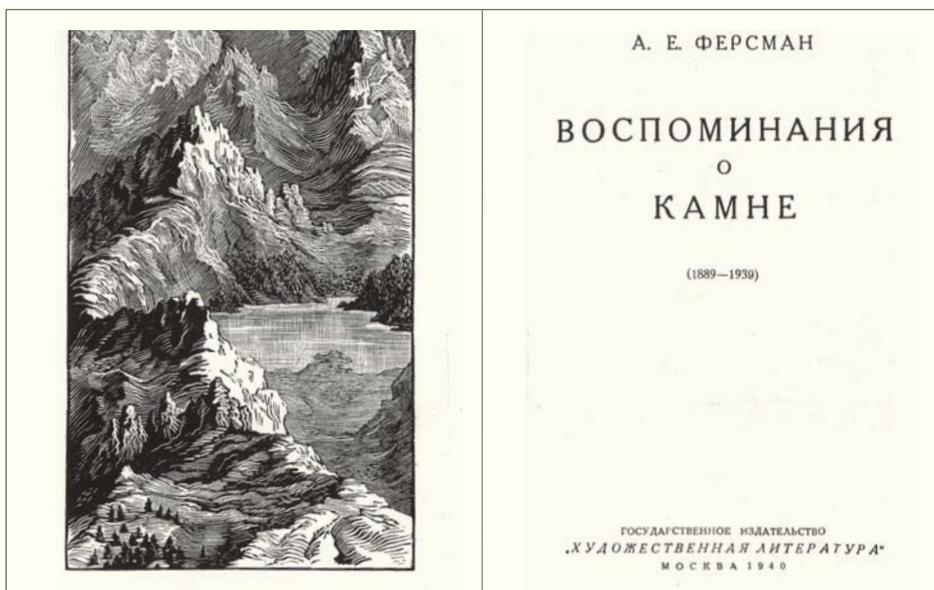
Поражает своей подробностью раздел, посвященный кристаллографии, что лежит в основе изучения минералов. В нем описываются шесть кристаллических систем (сингоний), за исключением того, что современные тригональная и гексагональная системы объединены, как это было принято в 19-м столетии, в одну. Сейчас их семь. Понятие об элементах симметрии и их видах



Учебник по минералогии для трудовой школы. Сост. А.Я.Герд и В.А.Герд. 1924 г.

(осях, плоскостях и центре симметрии) — исходное для кристаллографии в настоящее время, еще отсутствует, хотя слово «симметрический» мелькнуло два раза. Даны почти все известные в настоящее время так называемые «простые формы» кристаллов (куб, октаэдр, пирамиды и призмы разной симметрии, и т.д.). Их описание выглядит мелочным и нудным. Для каждой из них перечисляется число ее граней, их форма, число ребер и вершин, причем по отдельности число ребер и вершин разного рода. Невольно жалеешь гимназиста, которому, разумеется, требовалось все это зазубрить. За исключением числа граней, на остальное сейчас не обращают внимания. В этой книге имелись даже символы граней, что трудно осваивается даже современным студентом.

Учебник Гофмана считался передовым для своего времени. Студент Петербургского университета 1860-х годов А.А.Иностранцев, будущий знаменитый геолог, проявил на экзамене у минералога профессора П.А.Пузыревского такие познания в кристаллографии — очевидно, благодаря этому учебнику, что тот спросил, в каком университете он изучал этот предмет [6].



А.Е.Ферсман. Воспоминания о камне. 1940 г.

В начале 1870-х годов гимназии приобрели гуманитарный характер, курс естествознания практически полностью отошел к реальным училищам. Окончившие их имели право поступать в технические вузы. В учебном пособии для этих училищ начали излагать почти все разделы геологической науки, хотя он еще назывался учебником минералогии [7]. Эта книга была доведена до 222 страниц. В начале 1890-х годов появился также учебник Н.А.Кричагина, а в начале 1900-х годов — учебник В.А.Нечаева, ставшие популярными. Эти книги уже отличались множеством интересных иллюстраций, отражали новейший уровень геологии. Их авторы были гимназическими преподавателями, и потому созданные ими учебники в наилучшей степени отвечали принципам и задачам обучения школьников. Стиль указанных книжных пособий — живой. К.Ф.Ярошевский, заключая параграф о кварце, пишет так: «Кварц есть самый распространенный в земле минерал, и нельзя не отнестись с удивлением к тому, какие разнообразные формы и виды может принимать на себя в природе одно и то же вещество» [7]. В упомянутых учебниках описаны около 50 минералов и их разновидностей, около 30 горных пород. Авторы этих книг уже стремились объяснять излагаемые ими факты. Чувствуется, что учебники написаны с душой и даже сейчас читаются с любопытством, хотя, конечно, их планы не соответствуют современному делению геологии на науки и их разделы, многое выглядит неглубоким с современной точки зрения, терминология отчасти устаревшей. Более чем скудно дана палеонтология.

Участники VII сессии Международного геологического конгресса, состоявшейся в 1897 г.

в Петербурге, постановили обратиться к правительствам всех стран, делегации от которых были на этой сессии, с предложением ввести преподавание геологии в средней школе. Видимо, это способствовало увеличению объема геологических знаний, преподносимых школьникам. Геология излагалась в V (предпоследнем) классе училищ при трех уроках в неделю [8]. Давались широкие знания в этой области знания, хотя курс назывался по-прежнему узко: «Кристал-лография и минералогия». Школьникам даже показывали, как определять минералы путем нахождения их удельного веса и с применением паяльной трубки. Между прочим, устанавливать минералы с помощью паяльной трубки обучали в наших вузах еще в 1950-х годах.

Нет сомнения в том, что преподавание геологических знаний юному поколению стало условием того, что во второй половине XIX в. сложилась блестящая плеяда русских геологов, заложивших основы отечественной горнорудной базы и всемирно известной российской геологической науки. Назовем только некоторые имена: В.И.Вернадский, Ф.Ю.Левинсон-Лессинг, И.В.Мушкетов, В.А.Обручев, Е.С.Федоров, А.Е.Ферсман. Их влияние, результаты их деятельности ощущаются до сих пор. Один немецкий ученый недавно пошутил: «Ездить в Россию с кристаллографией — все равно, что в арабские эмираты — с нефтью».

Геологию излагали в 20-х годах XX в. в советской школе [9]. До Великой Отечественной войны — по крайней мере в 1934—1941 гг. в программе 10-го класса средней школы был предмет: «Геология и минералогия». Имелся соответствующий учебник [10], добротный по содержанию, насчитывав-



В.А.Обручев. Занимательная геология. 1961 г.

ший около 180 страниц (хотя выглядит он сухим). В нем имелось три раздела, близкие по объему: минералогический с началами кристаллографии, о горных породах и об истории земной коры с попутными сведениями по палеонтологии. К преподаванию геологии в средней школе относились основательно. В помощь учителям было опубликовано руководство [11]. Школьное обучение «подкрепляли»: «Занимательная геология» Обручева и великолепно изданная «Занимательная минералогия» Ферсмана. В мир минералогии вовлекал сборник романтических новелл Ферсмана «Воспоминания о камне».

Фабрики учебных пособий выпускали до войны стандартные наборы минералов для школ — например, коллекцию «Уральские минералы». Это была картонная коробочка, в которой в отсеках между перегородками лежали 30 образцов размером около 3 см: горный хрусталь, змеевик, магнетит, тальк и др. Из рудных минералов — важных полезных ископаемых, имелись, например, хромистый железняк (хромит) и магнитный железняк (магнетит). Однако особенно впечатляли сульфиды: медный колчедан (халькопирит),

свинцовый блеск (галенит), серный колчедан (пирит). Они тяжелили руку и мерцали особым глубоким и таинственным блеском. Были также горные породы: мрамор и яшма. Благодаря этой коробочке, подаренной отцом — школьным учителем химии и по совместительству (до войны) геологии, и книгам Ферсмана возник у автора этих строк еще в детстве непреходящий интерес к минералогии.

В некоторых школах — видимо, там, где вести этот предмет не имелось возможности, до войны его заменяла астрономия.

После войны геологию и минералогию исключили из школьной программы, причем ввести какие-либо сведения такого рода в другие учебные курсы не озаботились. В отношении геологических знаний в школьном обучении произошел полный провал, что может по личным воспоминаниям удостоверить автор. За сохранение геологии в школе ратовал академик Обручев в 1949 г. в журнале «Вокруг света» и в «Литературной газете». Однако дело не очень скоро стало изменяться к лучшему.

В 1960—1970-х годах школьникам сообщались скромные сведения о геологической эволюции Земли, геологических эпохах — попутно, в рамках других предметов.

Как же обстоит дело сейчас?

Некоторые фирмы выпускают школьные тематические коллекции минералов и горных пород, состоящие всего лишь из девяти-десяти образцов. Например: «Цвета минералов», «Карбонатные породы», «Магматические породы», «Горная химия».

История эволюции биологического мира, т.е. то, что относится к палеонтологии, излагается в учебниках биологии для 9—11-х классов. Пособия разных авторов по этому предмету в большей или меньшей степени повторяют друг друга по содержанию и объему. Укажем, например, на соответствующую главу в новейшем учебнике [12] объемом в 20 страниц. Она содержательна, написана живо, хорошо иллюстрирована. Однако, к сожалению, книги по биологии ограничиваются мелкими изображениями тех биологических форм, остатки которых в виде окаменелостей могут попасться сейчас в обнажениях осадочных горных пород и в осыпях под ними. Это ископаемые раковины и кораллы, мшанки и морские ежи, отпечатки древних рыб и др. Интересными выглядели бы крупные фотографии таких окаменелостей. Именно они в первую очередь привлекают геологов-палеонтологов в их практической работе. О них следовало бы рассказать подробнее. Дело в том, что многие их виды — это так называемые «руководящие окаменелости». Под ними понимают окаменевшие остатки таких живых форм, которые существовали недолго (в геологическом смысле) и вымерли. Потому их используют для заключений о возрасте (гео-

логическом периоде) того пласта осадочной горной породы, в котором они найдены, — возраст, одинаковом при любом местонахождении на земном шаре включающего их пласта. Знание геологического времени отложения горной породы очень важно. Его в первую очередь стараются выяснить, поскольку, в частности, оно позволяет расшифровать всю геологию данного района при поиске полезных ископаемых. В свое время именно осознание наличия таких руководящих форм, их прослеживание по всей поверхности Земли позволили поставить изучение всей ее геологической истории на твердую основу. Если одновременно на уроке еще показали бы, например, трилобита — окаменевшее морское существо ранних периодов палеозойской эры, напоминающее рака, которое можно найти, в частности, в известняках под Петербургом, то, наверно, у школьника загорелись бы глаза, и ему захотелось пойти в геологию. Трилобиты — это и есть такие руководящие окаменелости. Впрочем, сейчас обнаружить их в развалах известняков или в их обнажениях уже трудно — они выбраны любителями сувениров. Однако можно изготовить их правдоподобные муляжи.

Содержательной выглядит глава по геологии в книге В.П.Максаковского и др. [13]. Судя по всему, в ней суммируется материал учебников географии за разные годы обучения. Впечатляет детальнейшая геохронологическая таблица, в которой по периодам и эрам геологической истории указываются эпохи горообразования и возникновение тех или иных полезных ископаемых, эволюция биологического мира. Таким образом, она отчасти дублирует курс биологии. Обратим внимание на то, что неразрывная связь разных ветвей геологических знаний подтолкнула излагать их вместе, в одной таблице. К сожалению, указанная глава весьма краткая — всего лишь около 20 страниц. В ней есть и досадные неточности. Так, к обломочным осадочным горным породам наряду с песком отнесена и глина. Действительно, песок относится к таким породам, так как появляется в результате механического разрушения кристаллических горных пород. Наиболее распространенная глина состоит из нескольких различных глинистых минералов, принадлежащих к алюмосиликатам (галлуазита, монтмориллонита и др.). Они представляют собой продукт химического разложения на поверхности Земли минералов упомянутых скальных горных пород. Таким образом, глина принадлежит к хемогенным осадочным горным породам, также отмеченным этими авторами.

Что касается минералогии и петрографии, то несколько минералов и горных пород называются уже в учебниках по естествознанию для 4-го и 6-го классов. При этом следовало бы хоть что-то рассказать об этих минералах. Однако как можно указывать на минералы, не сообщая их

химический состав? Так что говорить о них можно только в старших классах. В то же время минералы фактически лишь упоминаются, не более того, в курсах географии, естествознания и химии для этих классов. Нет описания их внешнего вида и физических особенностей. Нигде нет сведений о том, как образуются минералы в природе. Представления об их кристаллах также вовсе выпали из школьных программ. Между тем, если геолог находит в поле кристаллики, он тут же с учетом их твердости и цвета без специального исследования почти всегда может определить, что за минерал у него в руках.

Обращает на себя внимание низкий уровень учебника по химии О.С.Габриеляна [14] для 9-го класса. Так, примером минерала силиката у него назван гранит. Между тем это не минерал, а горная порода, в которой имеется несколько минералов, различных по своему составу и внешнему виду. Там же Габриелян в качестве силикатного минерала, не содержащего алюминий, называет асбест. Однако это — группа минералов, среди которых есть и такие, которые содержат алюминий. Между прочим, там же кремневые орудия первобытного человека названы «кремниевыми». Наш предок использовал для этих целей кремнь — природный камень, а не химический элемент кремний. Странно, что указанная книга переиздавалась многократно.

О горных породах расскаывается в средней школе скупо, скороговоркой.

Таким образом, в отношении минералогии и петрографии мы видим досадный шаг назад по сравнению с тем, что было в прошлом.

Следует признать, что в качестве дополнения к среднему образованию имеется прекрасная книга [15]. Однако она вряд ли доступна широкому кругу школьников.

Сравнивая наши знания об «ископаемом царстве» 200 лет и сейчас, можно поразиться тому, как невероятно далеко мы продвинулись здесь (как, конечно, и в любой другой науке). И в то же время нельзя не обратить внимания на то, как скромно отражено современное состояние геологических дисциплин в школьных курсах, что видно уже хотя бы при сопоставлении старых и новых учебных пособий.

А ведь минералы и горные породы вокруг нас! Они необычайно разнообразны по своим цветам и оттенкам, которые не способен воспроизвести ни один художник, и доставляют эстетическое наслаждение. Следовало бы поведать школьнику о них так, чтобы ему захотелось присматриваться к окружающему миру, узнавать его объекты. Не должен же человек смотреть на природу вокруг себя слепыми глазами.

У нашего государства имеются, очевидно, две главные материальные опоры: сельское хозяйство и природные ресурсы, в том числе горнорудные. Для их поддержания и расширения требуются,

естественно, люди, нужны кадры. Если быть дальновидным, то в этом отношении следует начинать со средней школы. В настоящее время геологический материал, будучи разбросанным по разным курсам, в недостаточном объеме, не может долж-

ным образом закрепиться в головах школьников, создать в их представлении цельную картину. Представляется, что современный курс географии в 10–11-х классах следовало бы преобразовать в предмет: «география и геология». ■

Литература

1. *Воронов А.* Историко-статистическое обозрение учебных заведений С. Петербурга Учебнаго округа с 1715 по 1828 год включительно. СПб., 1849.
2. *Зув В.Ф.* Начертание естественной истории, изданное для народных училищ Российской империи по Высочайшему повелению царствующей императрицы Екатерины Второя. Ч.1–2. СПб., 1-е изд.: 1786; 5-е изд.: 1813–1814.
3. Краткое начертание минералогии, сочиненное в пользу губернских гимназий Академиком, коллежским советником и кавалером Василием Севергиным. СПб., 1804. (Учебник, исправленный и дополненный, переиздан в 1825 г.)
4. *Воронов А.* Историко-статистическое обозрение учебных заведений С.Петербургскаго учебнаго округа с 1829 по 1853 год включительно. СПб., 1854.
5. *Гофман Эрнст Карл.* Руководство к минералогии (для русских гимназий). СПб., 1-е изд.: 1853; 4-е изд.: 1882.
6. *Соколов В.А.* Александр Александрович Иностранцев. М., 1981.
7. *Ярошевский К.Ф.* Учебник минералогии. Руководство для средних учебных заведений с реальным курсом (для реальных училищ). М., 1-е изд.: 1877; 8-е изд.: 1906.
8. *Дудышкин С.Г.* Программы реальных училищ. М., 1899 (1898).
9. *Герд А.Я., Герд К.А.* Учебник минералогии. Земная кора, ее строение и богатства: Учебное пособие для трудовой школы. М.; Л. 1-е изд.: 1924; 5-е изд.: 1929.
10. *Потемкин М.П., Малинко В.В.* Минералогия и геология. Учебник для 10 класса средней школы. М., 1-е изд.: 1934; 7-е изд.: 1940.
11. *Бублейников Ф.Д., Зубков В.В., Щербаков Д.И.* Книга для чтения по геологии: Пособие для учителей средней школы. М., 1941.
12. *Беляев А.К., Бородин П.М., Воронцов Н.Н., Груntenко Е.В. и др.* Биология. Общая биология. 10–11 кл. 9-е изд. М., 2010.
13. *Максаковский В.П., Барина И.И., Дронов В.П. и др.* География: Пособие для поступающих в вузы. 6-е изд. М., 2008.
14. *Габриелян О.С.* Химия. 17-е изд. М., 2010.
15. Энциклопедия для детей. Т.4. Геология / Ред. М.Д.Аксенова. М., 2002.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А. КУДРЯШОВА

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

Литературный редактор
Е.Е. ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К. ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С. ДОРОХОВА

Перевод:
С.В. ЧУДОВ

Набор:
Е.Е. ЖУКОВА

Корректоры:
М.В. КУТКИНА
Л.М. ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В. АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 19.05.2011
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1396
Набрано и сверстано в редакции

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