

ПРИРОДА

3 10



В НОМЕРЕ:

3 Ожован М.И., Полуэктов П.П.
Стекла для иммобилизации ядерных отходов
Стекло в первую очередь ассоциируется у нас с окнами, посудой, светильниками и другими предметами из повседневного обихода. Но есть у стекла и другое, не столько известное, применение...

12 Леин А.Ю., Иванов М.В.
Биогеохимический цикл метана в океане
Океан представляет собой гигантский реактор, в донных отложениях которого происходит микробный синтез метана, а в водной толще — его окисление метанотрофными микроорганизмами.

22 Олейников В.А.
Квантовые точки в биологии и медицине
Уникальные свойства флуоресцентных нанокристаллов делают их идеальными флуорофорами для сверхчувствительной многоцветной детекции биологических объектов и медицинской диагностики, требующей одновременной регистрации многих параметров.

29 Шабанов Д.А., Литвинчук С.Н.
Зеленые лягушки: жизнь без правил или особый способ эволюции?
Один из способов понимания феномена жизни — поиск отклонений от известных биологических законов. Изучение таких исключений позволяет перейти от уже понятых «правил игры» к познанию более глубоких истин.

37 Плеханова Л.Н.
Древние нарушения в почвах
Изучение древних курганов и поселений в долинах рек степного Зауралья позволило установить, что наиболее сильное воздействие на палеоландшафты оказало общество эпохи поздней бронзы (2-е тысячелетие до н.э.).

44 Паранина Г.Н., Субетто Д.А.
Гномон — ключ северного лабиринта

53 Трофимова Е.В.
Плитвицкие карстовые озера

Заметки и наблюдения

57 Булавинцев В.И.
Большая поганка

Комаров В.Н.
Крымский флиш (60)

63 Корсаков С.Н.
Декан С.Д.Юдинцев

О чем писала «Природа»

72 Ферсман А.Е.
Очерки по геохимии
Задачи современной минералогии

Боруцкий Б.Е.
Почти сто лет спустя (77)

81 **Новости науки**

Углеродная атмосфера у нейтронной звезды в Кассиопее А (81). Новый материал на основе графена (82). О пользе хрена для нанотехнологий (82). Выходы газов на Байкале (83). Свойства нижней мантии (84). Закисление морской воды в Северном Ледовитом океане (84). Мамонты из карьера Келколово (85).

Рецензии

86 Зубрева М.Ю.
Путешествие в пермский период
 (на кн.: В.П.Ожигбесов, И.И.Терещенко, С.В.Наугольных. Пермский период: органический мир на закате палеозоя)

88 **Новые книги**

Встречи с забытым

90 Саватюгин Л.М., Дорожкина М.В.
Российские робинзоны острова Грумант

CONTENTS:

- 3 Ozhovan M.I., Poluektov P.P.**
Glasses for Immobilization of Nuclear Waste

Glass is primarily associated with windows, glass-ware, lamps and other household items. But glasses have also another, not so well-known application...

- 12 Lein A.Yu., Ivanov M.V.**
Biogeochemical Cycle of Methane in the Ocean

World ocean is a giant reactor: in its bottom sediments the microbial synthesis of methane is performed, and in the bulk of water oxidation of methane by methanotrophic bacteria.

- 22 Oleinikov V.A.**
Quantum Dots in Biology and Medicine

Unique properties of fluorescent nano-crystals make them perfect fluorophores for supersensitive polychromatic detection of biological objects and medical diagnostics which requires simultaneous recording of multiple parameters.

- 29 Shabanov D.A., Litvinchuk S.N.**
Green Frogs: Life without Rules or a Peculiar Way of Evolution?

One of the ways to understand the phenomenon of life is search for exceptions to the known biological laws. Study of such exceptions allows a change from already understood «rules of the game» to deeper truths.

- 37 Plekhanova L.N.**
Ancient Disturbances in Soils

Studies of ancient burial mounds and settlements in river valleys of trans-Ural steppes allowed to discover that the strongest impact on paleolandscapes was incurred by Late Bronze communities (the second millennium B.C.).

- 44 Paranina G.N., Subetto D.A.**
Gnomon – the Key to Nordic Labirinth

- 53 Trofimova E.V.**
Plitvitzky Karst Lakes

Notes and Observations

- 57 Bulavintsev V.I.**
The Great Crested Grebe

- Komarov V.N.**
Crimean Flysch (60)

- 63 Korsakov S.N.**
Dean S.D.Yudintzev

What «Proroda» Wrote About

- 72 Fersman A.E.**
Studies in Geochemistry
 Problems of Contemporary Mineralogy

- Borutzky B.E.**
Near Hundred Years Ago (77)

- 81 Science News**

Carbonic Atmosphere of Neutron Star in Cassiopeia A (81). New Graphen-Based Material (82). On Horseradish Gain to Nano-Technologies (82). Gas Makes at Baikal (83). Deep Mantle Properties (84). Seawater Acidification in Arctic Ocean (84). Mammoths from Kelkolovo Quarry (85).

Book Reviews

- 86 Zubreva M.Yu.**
Journey into Permian
 (on a book: V.P.Ozhgibesov, I.I.Terechshenko, S.V.Naugolnykh. Permian: Life at the End of Paleozoic)

- 88 New Books**

Encounters With Forgotten

- 90 Savatyugin I.M., Dorozhkina M.V.**
Russian Robinsons of Grumant Island

Стекла для иммобилизации ядерных отходов

М.И.Ожован, П.П.Полуэктов

Стекло — это однородное аморфное твердое вещество, которое обычно получают быстрым охлаждением вязкого расплавленного материала ниже его *температуры стеклования* T_g , не давая сформироваться регулярной кристаллической решетке. Термодинамически равновесное состояние твердых тел, обладающее минимальной энергией, как известно, — состояние упорядоченное, кристаллическое, однако для его образования требуется определенное время, которое тем больше, чем выше вязкость расплава. Если расплав охлаждается так быстро, что атомы не успевают перестроиться в решетку с дальним порядком, ниже температуры стеклования они оказываются замороженными в разупорядоченную структуру стекла. Стеклование часто определяют как фазовый переход второго рода, в результате которого переохлажденный расплав приобретает структуру стекла и его физические свойства начинают изменяться подобно свойствам кристаллических фаз [1].

Между жидкостью и кристаллом

Стекло обычно ассоциируется с оконным стеклом, ветровым стеклом машин, посудой на столе, стеклотарой или осветительными приборами. Между тем стеклообразное состояние впол-

© Ожован М.И., Полуэктов П.П., 2010



Михаил Иванович Ожован, доктор физико-математических наук, адъюнкт-профессор Университета Шеффилда, главный научный сотрудник ГУП МосНПО «Радон», член Международной комиссии по стеклу. Занимается структурой и свойствами аморфных оксидных материалов и иммобилизацией ядерных отходов.



Павел Петрович Полуэктов, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель генерального директора Высокотехнологического научно-исследовательского института неорганических материалов им.А.А.Бочвара. Область научных интересов — физика конденсированных сред и технологии обращения с радиоактивными отходами.

не универсально, в таком виде могут существовать практически все вещества. Долгое время его природа ускользала от понимания. Полагалось даже, что только отдельные соединения могут образовывать стекло, а именно так называемые стеклообразующие вещества, такие как кремнезем или смеси оксидов, дающие вязкие расплавы. Как раз из этих веществ и получают оконные и бутылочные стекла. Однако с открытием металлических стекол в начале 60-х годов прошлого века стало ясно, что практически любое вещество, если его в расплавлен-

ном состоянии охладить достаточно быстро, перейдет в стеклообразное состояние. Быстрое охлаждение расплавов не позволяет им закристаллизоваться, так как замораживает разупорядоченное расположение атомов, сохраняя аморфную структуру. Насколько быстро надо охладить расплав, чтобы получить стекло, зависит от материала. Если расплавы силикатных стекол можно охлаждать часами и полученный материал будет стеклом, то для получения металлических стекол скорость охлаждения должна быть порядка миллиона градусов в секунду

(рис.1). Поэтому обычные металлические стекла изготавливают в виде тонких полос при сверхбыстром охлаждении расплава подачей его на быстровращающиеся охлаждаемые диски. Правда, в последние годы открыты так называемые объемные металлические стекла (bulk metallic glasses, BMG на рис.1). Это такие сплавы, для которых время охлаждения может быть порядка секунд и минут, соответственно из этих материалов можно получать объемные аморфные металлические изделия. Характеризуются эти сплавы более сложным составом, повышенной вязкостью расплава и поэтому большим временем, требуемым для образования упорядоченной кристаллической структуры.

При высоких температурах стекла демонстрируют свойства, присущие жидкостям (они пластичны), а при температурах ниже T_g ведут себя как твердые тела (хрупки). Мы знаем, например, как сделать хрупким шоколад или масло — их надо хорошо охладить в морозильнике. На холоде шоколад или масло вовсе не кристаллизуются, они остаются

точно такими же аморфными, как и в тепле. И все же при стекловании внутренняя структура связей меняется. Наблюдаемый при этом фазовый переход второго рода в кристаллических (упорядоченных) веществах обычно связан с изменением симметрии кристаллической решетки. Но у аморфных материалов никакой симметрии нет, что же происходит с их структурой при переходе из расплава в стеклообразное состояние? Ответить на этот вопрос весьма непросто. Для понимания изменений, сопровождающих стеклование, необходимо рассмотреть не само распределение атомов, которое инвариантно изотропно как выше, так и ниже T_g , а распределение межатомных связей при изменении температуры. Сделать это проще всего в так называемой модели непрерывной сетки связей, рассматривая разрывы межатомных связей из-за термических флуктуаций. Если температура достаточно высока, скажем, выше температуры плавления, огромное количество межатомных связей в расплавленном материале разорвано. Поэтому в жидкостях

существующие (неразорванные) межатомные связи не могут заполнить все трехмерное пространство. В структуре связей жидкостей существуют огромные, пронизывающие все пространство, так называемые перколяционные, кластеры. Кластеры разорванных связей в жидкости устроены весьма необычно — они описываются фрактальной геометрией размерности меньше трех. Это меньше, чем у трехмерного пространства, и отражает тот факт, что целые связи в жидкостях не распространяются по всему объему. Если температура понижается, в веществе появляется все больше и больше целых связей; кластеры из связей укрупняются, пока они наконец не заполнят все трехмерное пространство, и аморфное вещество переходит в стеклообразное состояние. Таким образом, в стеклообразном состоянии межатомных связей настолько много, что кластеры из связей становятся трехмерными, как и само пространство. Материал в результате приобретает жесткость, присущую твердым телам. Параметром связанности (аналогом симметрии), изменяющимся при стекловании, служит мощность множества связей (так называемая хаусдорфова размерность). Она разная для стеклообразного и жидкого состояний: равна трем для стекла, в то время как для расплава равна приблизительно 2.5 [2, 3]. Рис.2 показывает изменения, происходящие в стеклах и кристаллах при нагревании. Стекла, как правило, имеют меньшую плотность, чем кристаллы, но при нагреве из-за ангармонизма колебаний атомов и результирующего термического расширения они уменьшают свою плотность практически так же, как и кристаллы. При достижении температуры плавления кристаллы изменяют свою плотность скачкообразно. Стекла при нагревании не показывают никаких скачков плотности, однако при переходе через температуру стеклования на темпера-

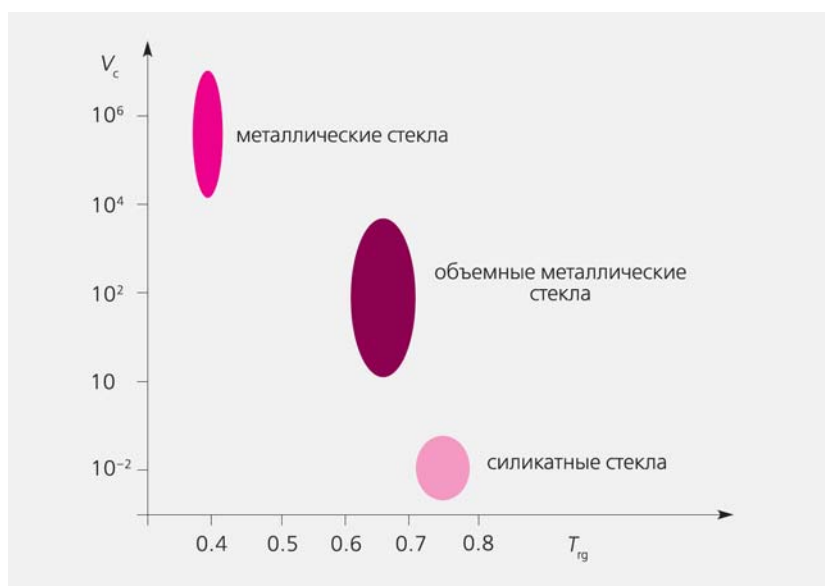


Рис.1. Критическая скорость охлаждения расплава для получения стекол V_c (при охлаждении со скоростью выше V_c материал остается аморфным); T_{rg} — относительная температура стеклования, определяемая как отношение температуры стеклования T_g к температуре плавления T_m .

турной зависимости наблюдает-ся небольшой излом. Он отражает тот факт, что степень связанности материала, определяемая хаусдорфовой размерностью, при переходе из стекла в состояние расплава изменяется.

Выше T_g любая трещинка, где-то возникнув, перемещается по слабым путям, т.е. разорванным межатомным связям. Но поскольку пространство этих связей фрактально, она быстро исчезает, меняя направление и теряясь в необычной структуре фрактального типа. Именно фрактальность и не позволяет трещинке пройти весь материал, в результате аморфные вещества выше T_g пластичны. В стеклообразном состоянии вещества тоже топологически разупорядочены, но имеют трехмерную структуру связей и в этом отношении подобны кристаллам. Поэтому стекла и ведут себя как твердые тела, они хрупки и разрушаются почти так же, как кристаллы. Трещине, разрушающей материал, нигде теряться — и она пронизывает материал от границы до границы. Вместо пластичности вещества в стеклообразном состоянии приобретают хрупкость. Но все-таки стекла ведут себя *не точно так же, а почти как* кристаллы, потому что кристаллы анизотропны и разрушаются в преимущественных направлениях ориентации межатомных связей, а стекла имеют изотропное распределение связей и трещины распространяются в них под любым углом. В этом можно убедиться, разломав охлажденный, ставшим хрупким, шоколад.

Важно, что вязкость, параметр, характеризующий текучесть материала, у аморфных веществ непрерывно увеличивается при уменьшении температуры, не делая никаких скачков. Именно непрерывность изменения вязкости с температурой используется для формования изделий из стекла. Более того, это свойство используется и для приготовления кристаллических веществ, которые час-

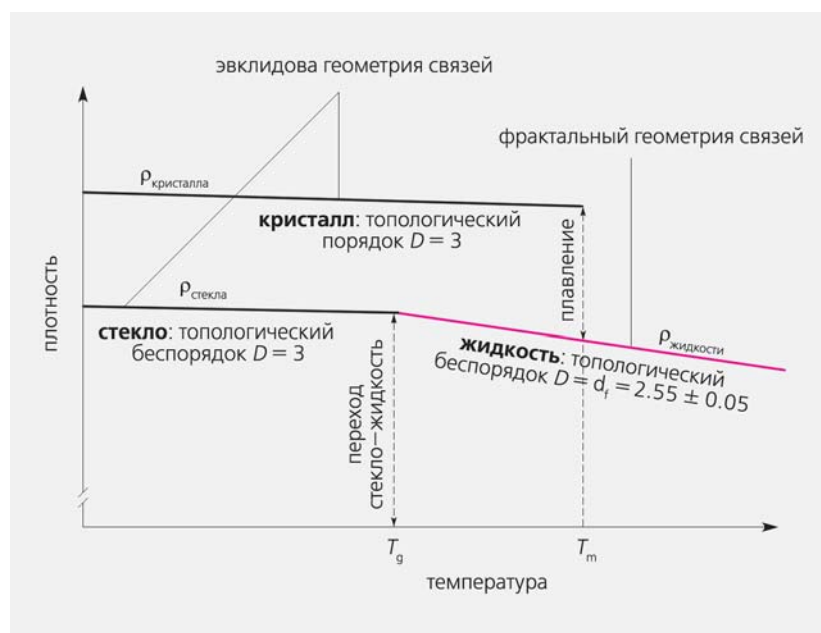


Рис.2. Плотность и геометрия связей в аморфных и кристаллических веществах при увеличении температуры.

то получают из расплава с последующей кристаллизацией или путем направленной кристаллизации предварительно формованных стеклянных преформ. Стекло, подобно жидкости, обладает текучестью, однако вязкость стекла настолько высокая (выше 10^{12} Па·с), что в обычных условиях это течение практически ненаблюдаемо. Элементарный расчет показывает: при комнатных температурах характерное время течения оконных стекол намного превышает все разумные времена, включая время жизни Вселенной ($1.5 \cdot 10^{10}$ лет). Заключим поэтому этот раздел определением стекла, который дает академик М.М.Шульц: «Стекло — это аморфное вещество, обладающее механическими свойствами твердого тела» [4].

Давний спутник человечества

Люди научились изготавливать стекла еще за 3 тыс. до н.э., т.е. «стеклоделию» уже 5 тысячелетий. Никто точно не знает, как было открыто стекло. 2 тыс. лет

назад (79 г.) римский писатель Плиний Старший описал в своей книге «Естественная история» легенду о том, как финикийские купцы, торгующие кристаллической содой, обнаружили, что комки природной соды, использовавшиеся в качестве подставок для котелков при изготовлении пищи на средиземноморском побережье, сплавлялись с песком на огне и образовывались блестящие камушки-капли, стекло (рис.3).

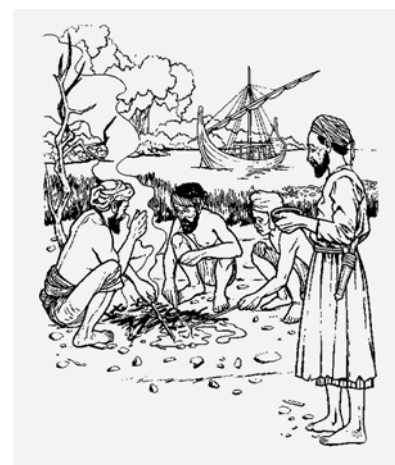


Рис.3. Возможно, так был открыт способ получения стекла.

Природное стекло известно человеку с древнейших времен. Самая распространенная его разновидность — обсидиан, природное вулканическое стекло, из которого древний человек изготавливал ножи, наконечники стрел и другие колющие и режущие предметы. В природе стекло образуется от удара молний, при извержении вулканов, в результате падения метеоритов. Долгое время выработка стекла была скорее искусством, чем ремеслом, и опыт мастеров передавали из поколения в поколение. Создание науки о стекле связывают с именем профессора Уильяма Тернера: в 1915 г. он основал первую кафедру стекла в университете города Шеффилд, а в 1916 г. создал Международное общество технологии стекла (Society of Glass Technology).

Применение стекол разнообразно. Интересно, что одно и то же вещество в кристаллическом и аморфном состоянии часто демонстрирует весьма различные свойства, например оптические. Такое поведение материалов современная техника

использует для быстрой записи и чтения информации: это хорошо известные оптические диски DVD, представляющие собой защищенные тонкие слои быстрокристаллизующегося вещества, чаще всего сплавов Ag, In, Sb и Te. Поскольку отражательная способность этих сплавов сильно зависит от того, аморфные они или кристаллические, лазерным лучом наносится на них и считывается информация в виде миниатюрных аморфных точек на фоне кристаллической матрицы [5]. Или возьмем, например, прочность: если обычные металлические сплавы разрушаются в основном по слабому межкуристаллитному звену, то в аморфных металлах, где зерен нет вовсе, нет и уязвимого звена. Высокая механическая прочность в сочетании с эластичностью недостижима для кристаллизованных сплавов: прочность аморфных металлов выше, чем у стали, а упругость такая же, как у полимеров (рис.4).

Стекла незаменимы в разном качестве — от посуды и люстр до витражей и мозаик. Звезды

кремлевских башен и шпиль МГУ им.М.В.Ломоносова на Воробьевых горах сделаны из стекла. В наше время производство стекла — часть современной индустрии, причем больше половины всего выплавляемого материала перерабатывается на листы для остекления зданий, а около трети — на сосуды разного назначения. Исключительно важно его применение в качестве защитных и украшающих покрытий, стеклозмалей, предохраняющих металлические изделия от разрушения, а также часто придающих им эстетичный внешний вид. Стекла стойки к воздействию агрессивных сред, и там, где металлы быстро корродируют и разрушаются, первые ведут себя как инертные, неразрушающиеся материалы. Связано это с тем, что они содержат вещества уже в окисной форме и не окисляются, как это делают металлы, а потому прочны и долговечны. Окисные стекла, как правило, прозрачны, а примеси отдельных катионов придают им разнообразную окраску. Так, силикатные стекла окрашиваются в желтый цвет примесями Fe^{3+} и Cr^{6+} , в голубой — Cu^{2+} , в пурпурный — Mn^{3+} и Nd^{3+} , в зеленый — Cr^{3+} , в синезеленый — Fe^{2+} . Приятная окраска, прозрачность и прочность стекол привлекательны, поэтому часто стекла применяют и как украшения.

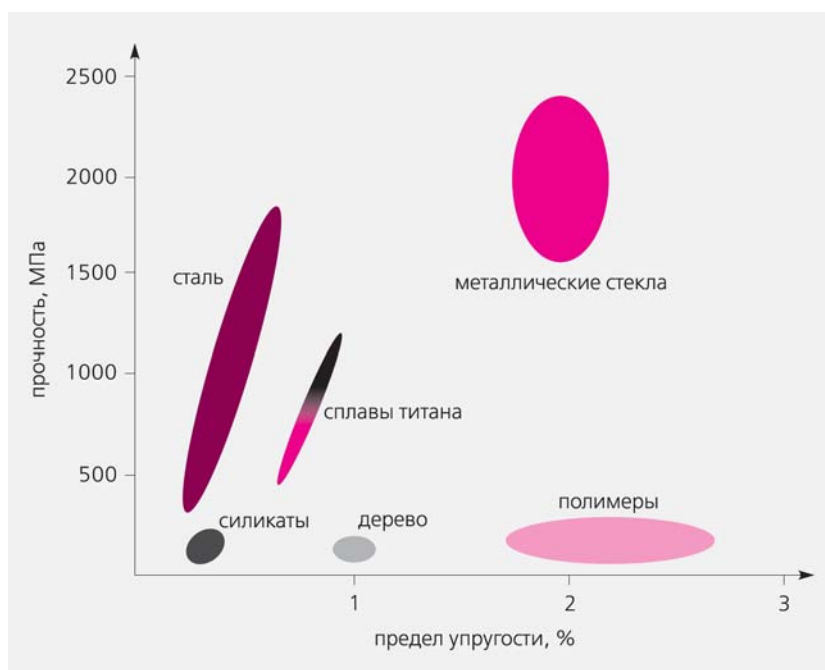


Рис.4. Аморфные металлические сплавы сочетают прочность кристаллических сплавов с упругостью полимеров.

Оковы для ядерных отходов

Век XX нашел стеклам новое применение — изолировать от окружающей среды ядерные отходы. Ядерное топливо в сотни миллионов раз более эффективно по сравнению с ископаемыми источниками энергии, однако при его переработке образуются высокотоксичные и сильно радиоактивные отходы, которые необходимо надежно изолировать от окружающей среды на периоды от нескольких сотен до многих тысяч лет.

Радиоактивные отходы различают по уровню активности и в зависимости от содержания радионуклидов разделяют на низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные. В России к высокоактивным отходам относятся те, которые содержат излучающие элементы в концентрациях свыше 10^7 Бк/г бета-активных, или $>10^6$ Бк/г альфа-активных, или $>10^5$ Бк/г трансуранных радионуклидов (напомним, что единицей активности служит $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$) [6]. Надежная изоляция и безопасное хранение ядерных отходов невозможны без иммобилизации отходов в прочные, коррозионно-устойчивые материалы, которые предотвращали бы диффузию радионуклидов. Если для низкоактивных отходов вполне приемлем метод цементирования, то для иммобилизации средне- и особенно высокоактивных отходов нужны значительно более прочные и долговечные материалы, такие как керамика и стекло. Чем же стекло так привлекательно для «обездвиживания» радиоактивных отходов? Во-первых, простотой технологии — для иммобилизации отходов методом остекловывания отходы варят вместе со стеклообразующими добавками, так что в результате варки получают достаточно прочное стекло, которое можно долго хранить, затем транспортировать и, наконец, надежно захоранивать. Во-вторых, своей стойкостью к коррозии в водных средах, таких как грунтовые воды, а также устойчивостью к воздействию радиации (в отличие от, например, цемента, который при облучении разлагается на компоненты и начинает выделять радиолизные газы, так как в нем много воды). Основной параметр, характеризующий надежность «консервирования» радионуклидов из отходов, — это нормализованная скорость выщелачивания радионуклидов, NR. Измеряется NR в нормализованных единицах потерянного веса (г) с единицы площа-

Таблица 1
Пределы растворения элементов в силикатных стеклах

Растворимость, вес. %	Элементы
>25	Al, B, Ca, Cs, K, Na, Pb, Rb, Si, U;
15–25	Ba, Fe, La, Li, Mg, Nd, Sr, Zn;
5–15	Be, Bi, Cu, F, Ga, Ge, Mn, P, Pr, Pu, Th, Ti, V, Zr;
1–5	Am, As, C, Cd, Ce, Cl, Cm, Co, Cr, Dy, Eu, Hf, Mo, Ni, Np, Pm, Re, S, Sb, Se, Sm, Sn, Tc, Te, Tl, W, Y;
<1	Ag, Au, Br, Hg, I, N, Pd, Pt, Rh, Ru.

ди (см^2) иммобилизующего материала, т.е. стекла, в единицу времени (сут). Величина NR показывает теоретически возможную нормализованную скорость поступления радионуклидов из стеклообразного продукта при его возможном контакте с водой в случае полного разрушения барьеров хранилища и изолирующего контейнера (металлической канистры). Среди изолирующих барьеров стекло оказывается самым надежным и долговечным, в то время как предполагаемое время целостного состояния канистр редко превышает несколько сотен или в лучшем случае тысяч лет. NR для стекол с отходами весьма мала, причем реальная, а не нормализованная, скорость потерь на самом деле еще меньше, поскольку вычисляется она путем умножения NR на относительную концентрацию радионуклидов в стекле, которая всегда намного меньше единицы. NR определяют, используя международные стандарты, например стандарт МАГАТЭ (IAEA, Международное агентство по атомной энергии, штаб-квартира которого находится в Вене, Австрия) ISO6961 [7].

Стекла во многих отношениях ведут себя как твердые растворы, следовательно, они мало чувствительны к изменениям химического состава иммобилизуемых отходов. Если для кристаллических веществ соблюдение стехиометрии и ограничений на размеры замещаемых ионов в решетке синтезируемого вещества очень существенны, а малейшая вариация в составе приводит к синтезу нежелатель-

ных побочных материалов, то стекло прекрасно удерживает в своем составе почти все элементы таблицы Менделеева либо растворенными в структуре стекла (табл.1), либо в виде микровключений — в зависимости от растворимости. Элементы с малой растворимостью, такие как Ag, Au, Br, Hg, I, N, Pd, Pt, Rh и Ru, стекло иммобилизует, вмещая их в виде дисперсной фазы, малых кристаллических или аморфных частичек, окруженных стекломатрицей.

Для иммобилизации ядерных отходов сейчас применяются в основном два вида стекла — боросиликатное и фосфатное (табл.2). Точный состав стекол для ядерных отходов варьируется и определяется главным образом различием в составе отходов в разных странах [8, 9]. Британцы, например, используя реакторы на малообогатенном уране в оболочках из малоокисляющегося магниевого сплава Magnox, получают радиоактивные отходы с большим содержанием окиси магния. Соответственно, в составе британских стекол больше, чем где-либо, окиси магния. Получаемые стекла с ядерными отходами, как боросиликатные, так и фосфатные, исключительно стойки. В табл.3 показаны основные параметры боросиликатных и фосфатных стекол, иммобилизующих ядерные отходы.

Кроме высокой стойкости, остекловывание ядерных отходов дает еще одно преимущество — уменьшает, причем в несколько раз, их объем, т.е. не только предохраняет окружающую среду от вредного воздей-

Таблица 2
Составы стекол с ядерными отходами

Стекло, страна	SiO ₂	P ₂ O ₅	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Другие, включая продукты деления и актиниды
R7/T7, Франция	47.2	—	14.9	4.4	4.1	—	10.6	18.8
DWPF, США	49.8	—	8.0	4.0	1.0	1.4	8.7	27.1
Отходы Magnox, Великобритания	47.2	—	16.9	4.8	—	5.3	8.4	17.4
РАМЕЛА, Германия—Бельгия	52.7	—	13.2	2.7	4.6	2.2	5.9	18.7
Высокоактивные отходы, Россия	—	52.0	—	19.0	—	—	21.2	7.8
К-26, Отходы АЭС, Россия	48.2	—	7.5	2.5	15.5	—	16.1	10.2

Таблица 3
Свойства стекол с ядерными отходами

Плотность, г/см ³	Прочность, МПа	NR _с , 10 ⁻⁶ г/см ² сут	Термостойкость, °С	Удельная теплоемкость, кДж/кг·град	Теплопроводность, Вт/м град	Коэффициент термического расширения, 1/град
2.7	22–54	0.3	~550	0.71	1.17	8 · 10 ⁻⁶
2.6	9–14	1.1	>450	0.96	0.74	1.5 · 10 ⁻⁶

ствия загрязнителей, но и экономит дорогостоящее место в хранилищах. При остекловывании вода из отходов выпаривается и после очищения может быть повторно использована. Соли из отходов разлагаются на окислы и газовую составляющую, причем образующиеся газы очищаются перед выбросом в атмосферу как от радиоактивных, так и от химических токсикантов. При этом и вода, и образующиеся газы содержат очень малую часть радиоактивных загрязнителей отходов. Уменьшение объема отходов при остекловывании происходит, потому что в стекле удерживается только наиболее радиоактивный окисный остаток отходов, включенный в структуру стекла. Стоимость же захоронения очень высока, особенно для глубинных, геологических хранилищ. Высока она и в самом простом, так называемом приповерхностном, варианте, применяемом только для низко- и среднеактивных короткоживущих ядерных отходов. Например, во Франции стоимость захоронения одного кубометра низкоактивных отходов в приповерхностном хранилище Де-

ля Об составляет 2200 евро. Оцениваемая стоимость захоронения высокоактивных отходов в планируемых хранилищах несоизмерима выше.

На стекольной «кухне»

При варке стекла с ядерными отходами стеклообразующие добавки перемешивают с радиоактивными отходами и расплавляют, чтобы в результате варки получить конечный продукт в основном в виде однородной стеклянной матрицы с некоторым количеством включений нерастворившихся тугоплавких соединений или иных малорастворимых компонентов, микроликвационных выделений (стеклообразных включений иного состава, чем основная масса стекла), а также газовых пузырьков. Радиоактивное стекло — не оптическое стекло для прецизионных приборов и не оконное, для него основное требование — надежно удерживать радионуклиды, и оно обеспечивает это на уровне, наиболее достижимом и приемлемом на сегодняшний день. Остекловывание ядерных

отходов — процесс, при котором необходимы высокие температуры (как правило, около 1050—1150°С); схематично он показан на рис.5. Варят стекла с радиоактивными отходами в специальных печах. На сегодня распространены два основных процесса варки стекла — с предварительной кальцинацией и непосредственная, без предшествующей термической обработки. Условно они называются двухстадийным и одностадийным процессами. Одностадийный процесс проще и во многом основан на огромном опыте, накопленном в индустрии стеклопроизводства. Двухстадийные процессы сложнее, но они эффективно используют предварительно подготовленные к варке ингредиенты — кальцинированные отходы и так называемую стеклофритту, позволяя сократить время варки радиоактивного стекла. Одностадийные процессы используют в США, России, Германии, Бельгии, Японии, Индии и Южной Корее, двухстадийные — во Франции и Великобритании.

Остекловывание отходов начинается с выпаривания воды

из отходов, после чего концентрат выпарки кальцинируется (в двухстадийном процессе) или направляется сразу на перемешивание со стеклообразующими добавками (в одностадийном процессе). В двухстадийном процессе в качестве добавок служит стекло в виде гранул, фритта, в одностадийном добавками могут быть песок, глина, борсодержащий природный датолит и другие материалы, облегчающие технологический процесс варки и улучшающие свойства конечного продукта. Смесь радиоактивных отходов (кальцинированная или необработанная) со стеклообразующими добавками поступает окончательно в печь для варки радиоактивного стекла. Это может быть большая ванная печь, подобная печам варки стекол при производстве оконного стекла, или индукционная печь. Подобие здесь условное, так как на самом деле плавители для варки радиоактивных стекол сильно отличаются от тех, что используются в обычном производстве. В зависимости от уровня радиоактивных отходов они могут быть частично или полностью дистанционно управляемыми и часто имеют значительно меньшую производительность. Для варки стекла необходим электрический обогрев, который осуществляют, либо пропуская переменный ток через расплав стекла, либо индуцируя высокочастотные токи внешним индуктором. Во Франции и Великобритании применяют индукционно-нагреваемые тигли, а в США, Германии и Японии используют плавители прямого нагрева. В России для получения фосфатного стекла также применяют электропечи, в которых нагрев происходит за счет прямого прохождения тока промышленной частоты через расплав. Аппаратурно-технологическая схема остекловывания жидких радиоактивных отходов на российском ПО «Маяк» показана на рис.6. В этой схеме реализован

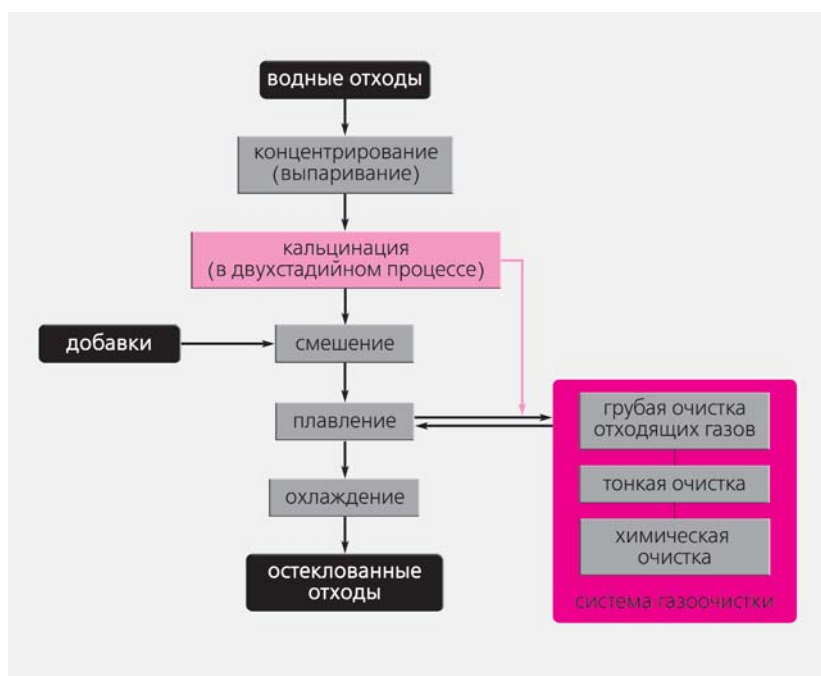


Рис.5. Схема остекловывания радиоактивных отходов.

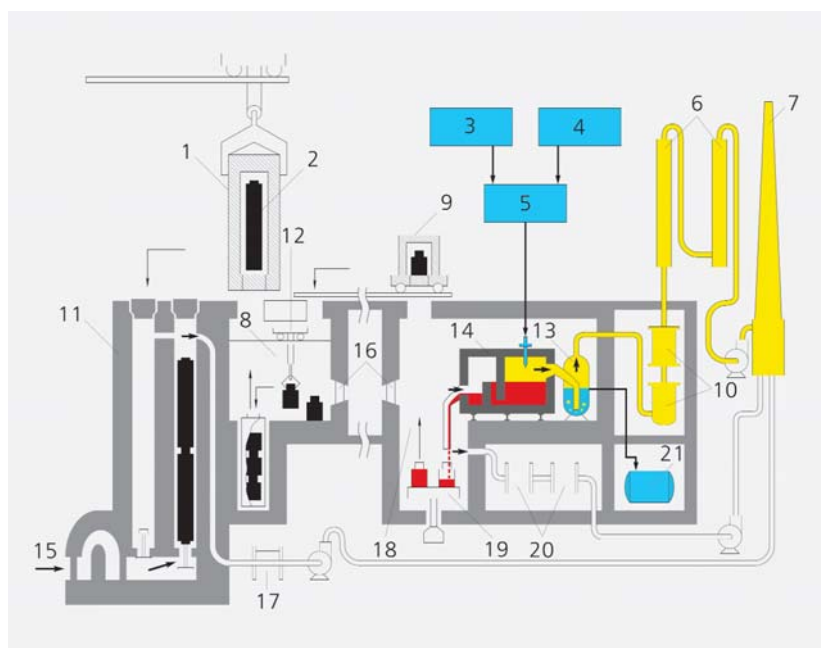


Рис.6. Схема остекловывания жидких отходов в печи ЭП-500 на ПО «Маяк» (Россия):

- 1 — перегрузочное устройство, 2 — пенал, 3 — радиоактивные отходы,
- 4 — H_3PO_4 , 5 — смешивание растворов, 6 — поглотительные колонны,
- 7 — труба высотой 150 м, 8 — камера комплектации пеналов,
- 9 — транспортная тележка, 10 — фильтры грубой и тонкой очистки,
- 11 — хранилище, 12 — кран-оператор, 13 — барботер, 14 — электропечь,
- 15 — поступление воздуха на охлаждение, 16 — смотровые окна,
- 17 — фильтр, 18 — камера розлива, 19 — круговой конвейер, 20 — фильтры,
- 21 — сборник конденсата.



Рис.7. Индукционный плавитель «холодный тигель» для остекловывания ядерных отходов.

одностадийный процесс, когда жидкие отходы подаются непосредственно в печь. За годы эксплуатации печей, начиная с 1987 г., в России наработано более 4 тыс. т фосфатного стекла с активностью около 0.5 млрд

кюри (1 кюри = $3.7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду) [10].

В последние годы развитие получили высокопроизводительные плавители, основанные на индукционной плавке внутри специального сосуда — холодного тигля (рис.7). Его стенки, изготовленные из металлических трубок, охлаждаются водой и благодаря этому остаются холодными в процессе варки, так что расплав удерживается холодными слоями остывшего стекла у стенок. Такие тигли имеют более высокую удельную производительность (можно применять меньший по размеру тигель, не сокращая производительность), более долговечны, позволяют достигать более высоких температур.

Именно холодные тигли позволили в свое время получить драгоценные синтетические кристаллы на основе тугоплавких окислов циркония и гафния — фианиты, названные так от аббревиатуры Физического института Академии наук — ФИАН, где они впервые бы-

ли созданы. Установки с холодными тиглями задействованы в России в одностадийном процессе с применением боросиликатных стекол на ГУП МосНПО «Радон» для остекловывания среднеактивных отходов. Используются они и во Франции — в двухстадийном процессе с получением стеклокомпозиционных материалов при иммобилизации уран-молибденовых высокоактивных отходов от переработки ядерного топлива. Сейчас установки с холодным тиглем считаются наиболее перспективными для остекловывания эксплуатационных отходов АЭС. Уместно отметить, что первая опытно-промышленная установка по остекловыванию такого рода отходов введена в эксплуатацию в России в 1999 г.

Процесс варки, как правило, занимает несколько часов. Сливают расплав в металлические контейнеры — канистры (рис.8), размеры которых различны в разных странах. Для высокоактивных отходов канистры изготавливают из нержавеющей стали в расчете на коррозионную устойчивость порядка тысячи лет.

Долгожданные похороны

Захоранивают остеклованные ядерные отходы в специальных хранилищах. В зависимости от того, какие отходы остекловывают, используются хранилища разного типа. Для высокоактивных ядерных отходов от переработки облученного ядерного топлива приемлемо захоронение в глубокие геологические формации, на глубины примерно 300 м и более. Такие хранилища имеются пока только в США и Германии, но и они предназначены не для высокоактивных отходов, а для низкоактивных и долгоживущих среднеактивных. Так что остеклованные высокоактивные отходы пока хранят (т.е. держат временно) в хранилищах наземного типа — до тех пор пока не построят глу-



Рис.8. Канистра с имитатором высокоактивных отходов. Для остеклованных высокоактивных отходов мощность радиации настолько высока, что человеку невозможно подойти к канистре раньше, чем наступит смерть от переоблучения.

* * *

бинные хранилища для их размещения. Такие хранилища запланированы во многих странах, ближе всего к пуску в эксплуатацию хранилище Якка Маунтин в США. Остеклованные низко- и среднеактивные отходы, согласно рекомендациям МАГАТЭ, можно захоранивать в приповерхностных хранилищах. Стекло в них из-за своей высокой коррозионной стойкости в практическом отношении не оказывает влияния на грунтовые воды ни химическими, ни радиоактивными токсикантами. Малое количество катионов, так или иначе выщелоченных грунтовыми водами из стекла, не способно привести к какому-либо загрязнению этих вод. Этот эффект был подтвержден длительными экспериментами, наблюдениями за остеклованными радиоактивными отходами в естественных условиях. Способность удерживания радионуклидов стеклами была проанализирована американскими специалистами при разработке технологии иммобилизации радиоактивных отходов в Хэнфорде, штат Вашингтон, США. Они установили, что только иммобилизация методом остекловывания сможет предотвратить загрязнение поверхностных вод технецием-99 через тысячи лет. Это послужило основанием для решения остекловывать там от 160 до 200 тыс. м³ низкоактивных отходов. Высокая стойкость стекол в сочета-

нии с высоким коэффициентом сокращения объема сулит методу остекловывания широкое применение. Неслучайно остекловывание рассматривается как метод иммобилизации и для низкоактивных отходов в качестве альтернативы цементированию не только в США, но и в Южной Корее, Швейцарии, России, Украине.

Стойкость стекол хорошо изучена, но, поскольку стекло должно удерживать радионуклиды от сотен до тысяч и даже миллионов лет, большое значение придается разработке моделей коррозии стекла, а также испытаниям остеклованных отходов в природных условиях, так называемым натурным испытаниям. Наибольших успехов в этом достигли объединенные коллективы специалистов США, Великобритании, России, Бельгии и Франции. Так, ГУП МосНПО «Радон» проводит многолетнюю программу натурных испытаний остеклованных радиоактивных отходов. Было доказано, что даже в простой траншее в грунтовую воду из 190 кг радиоактивного стекла может попасть за 300 лет всего 20 кБк радионуклидов, что по активности примерно соответствует таковой для человеческого тела. Испытания остеклованных отходов, проведенные в России, помогли специалистам США проверить компьютерные модели прогноза поведения отходов [11, 12].

Стекла из-за разупорядоченного расположения атомов метастабильны, они энергетически менее выгодны, чем кристаллы. Метастабильность стекла иногда рассматривают как аргумент против их использования, забывая, что метастабильность большинства стекол — скорее теоретическое, чем практическое понятие. Физики-теоретики, например, допускают, что и протон тоже нестабилен, т.е. может распадаться, и тогда все атомы в принципе метастабильны и распадаются со временем. Однако скорость этого распада настолько мала, что никто еще такие распады не наблюдал, т.е. принимать его во внимание практического смысла нет. Время распада большинства стекол, включая широко используемые силикатные и фосфатные, настолько больше времени жизни нашей Вселенной, что говорить о метастабильности бессмысленно. На геологических масштабах времени стекла вполне стабильны и долговечны. Наблюдения за природными силикатными стеклами со дна океанов показали, что за миллионы лет они прокорродировали всего на десятые доли миллиметра. На сегодняшний день стекло — наилучший материал для иммобилизации радиоактивных отходов как технологически, так и по надежности удержания радионуклидов. ■

Литература

1. The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Compendium on Chemical Terminology / Compil. A.D.McNaught, A.Wilkinson. Cambridge, 1997.
2. Ожован М.И. // ЖЭТФ. 2006. Т.130. №5. С.944—956.
3. Ojovan M.I. // Entropy. 2008. V.10. P.334—364.
4. Шульц М.М. О природе стекла // Природа. 1986. №9 С.41—52.
5. Wuttig M., Yamada N. // Nature Materials. 2007. V.6. P.824—832.
6. Ojovan M.I., Lee W.E. An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation. Amsterdam, 2005.
7. Ojovan M.I., Lee W.E. New Developments in Glassy Nuclear Wasteforms. N.Y., 2007.
8. Соболев И.А., Ожован М.И., Щербатова Т.Д., Батюхнова О.Г. Стекла для радиоактивных отходов. М., 1999.
9. Вашман А.А., Демин А.В., Крылова Н.В. и др. Фосфатные стекла с радиоактивными отходами. М., 1997.
10. Полуэктов П.П., Суханов Л.П., Матюнин Ю.И. // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им.Д.И.Менделеева). 2005. Т.XLIX. №4. С.29—41.
11. Ojovan M.I., Hand R.J., Ojovan N.V., Lee W.E. // Journal of Nuclear Materials. 2005. V.340. P.12—24.
12. Jantzen C.M., Kaplan D.I., Bibler N.E. et al. // Journal of Nuclear Materials. 2008. V.378. P.244—256.

Биогеохимический цикл метана в океане

А.Ю.Леин, М.В.Иванов

На дне океана имеются три основные экосистемы с активными процессами метаногенеза и метаноокисления: осадки океана, находящиеся на стадии диагенеза (биогенный метан), области разгрузки метана из древних осадочных толщ континентальных окраин (термогенный) и в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов (абиогенный метан). Мы рассмотрим геохимические особенности этих трех экосистем на конкретных примерах. Всего нами изучено 26 районов океана (табл.).

Наши исследования начались 35 лет назад, когда о геохимической активности метаногенов и метанотрофов в океане было известно очень мало. Обнаружение широкого распространения газово-струйных выделений (метановых сипов) и газ-гидратов метана в осадках океана привело к активизации работ по геохимии метана в океане. Главное открытие микробиологических исследований по этой проблеме — крупномасштабный процесс анаэробного окисления CH_4 , осуществляемый консорциумом сульфатредуцирующих бактерий и метанотрофных архей. Важнейшие геохимические последствия этого процесса таковы: уменьшается поток CH_4 из донных отложений в водную толщу, утяжеляется изотопный состав углерода остаточного метана за счет преимущественного потребления



Алла Юльевна Леин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, участник многочисленных экспедиций на научно-исследовательских судах, неоднократно погружалась в подводных аппаратах «Мир». Круг научных интересов охватывает биогеохимические и геохимические исследования процессов, участвующих в цикле углерода и серы.

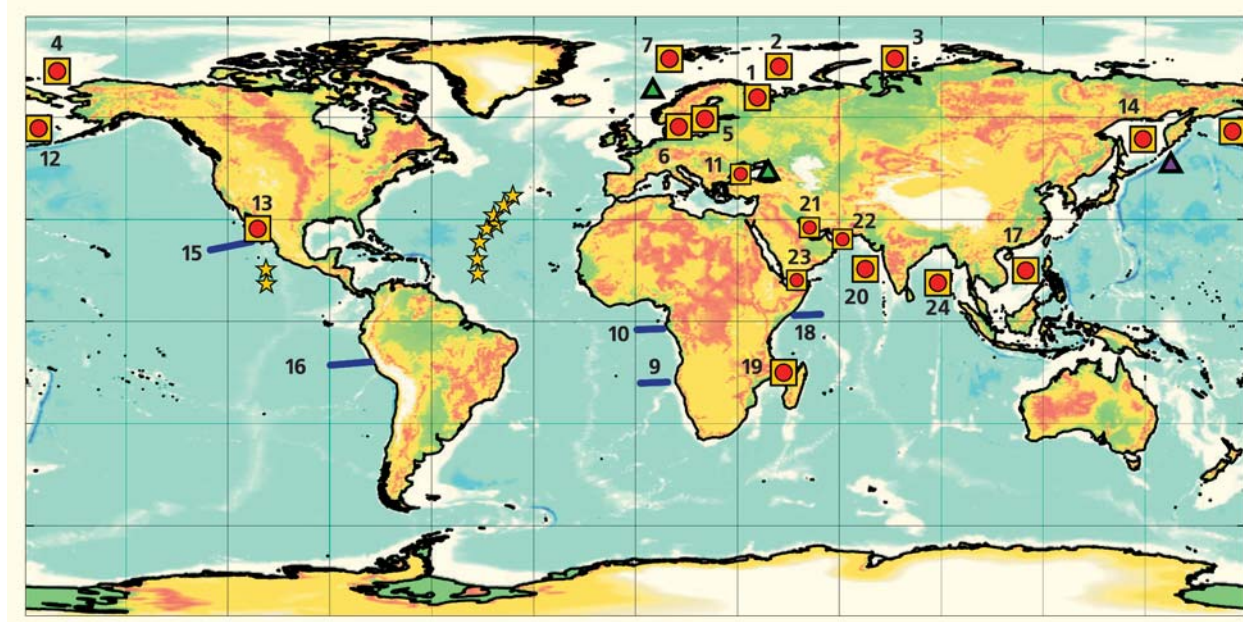


Михаил Владимирович Иванов, академик, доктор биологических наук, заведующий отделом Института микробиологии им.С.Н.Виноградского РАН, около 20 лет возглавлял этот институт. Область научных интересов — микробная биогеохимия. Лауреат премии С.Н.Виноградского и премий правительства РФ в области науки и техники.

^{13}C , образуются CO_2 и органическое вещество в виде биомассы микроорганизмов и экзометаболических, осаждаются изотопно-легкие карбонаты.

Ранее широкое распространение получила гипотеза, согласно которой в верхних горизонтах морских осадков микробный метаногенез не может происходить, пока большая часть сульфат-иона иловых вод не будет использована сульфатредуцирующими микроорганизмами. Присутствие метана в современных осадках океана авторами данной гипотезы объясняется процессами диффузии метана из более глубоких горизонтов осадков или из нефтяных и газовых месторождений, локализованных в осадочных породах под дном океана.

Отличие наших исследований — экспериментальное изучение вклада метаногенных архей в процессы образования CH_4 (одного из основных продуктов анаэробных процессов минерализации органического вещества). Анализ распределения метаногенов методом посева на селективные питательные среды показал, что жизнеспособные



Районы исследования биогеохимических процессов в отложениях океана. Цифрами обозначены широтные профили и полигоны (кружки в квадрате) исследования цикла метана в верхнем метре осадков океана. 1—4 — Северный Ледовитый океан (1 — Белое, 2 — Баренцево, 3 — Карское, 4 — Чукотское моря); 5—11 — Атлантический океан (5 — Балтийское море, 6 — проливы Скагеррак и Категагт, 7 — Норвежское море, 8 — залив Батабано, 9 — район Бенгельского апвеллинга, 10 — район выноса р.Конго, 11 — Черное море); 12—17 — Тихий океан (12 — Берингово море, 13 — Калифорнийский залив, 14 — Охотское море, 15 — Транстихоокеанский профиль, 16 — профиль у берегов Перу, 17 — Южно-Китайское море); 18—24 — Индийский океан (18 — Сомалийская котловина, 19 — Мозамбикский пролив, 20 — Аравийское море, 21 — Персидский залив, 22 — Оманский залив, 23 — Аденский залив, рифт Таджура, 24 — Бенгальский залив). Треугольники — районы с грязевым вулканизмом, звездочки — глубоководные гидротермальные поля срединно-океанических хребтов.

клетки этих микроорганизмов обнаруживаются вместе с сульфатредуцирующими бактериями во всех изученных нами пробах донных отложений.

Применение радиоизотопных субстратов (^{14}C), участвующих в процессе метаногенеза, однозначно доказало, что биосинтез CH_4 происходит во

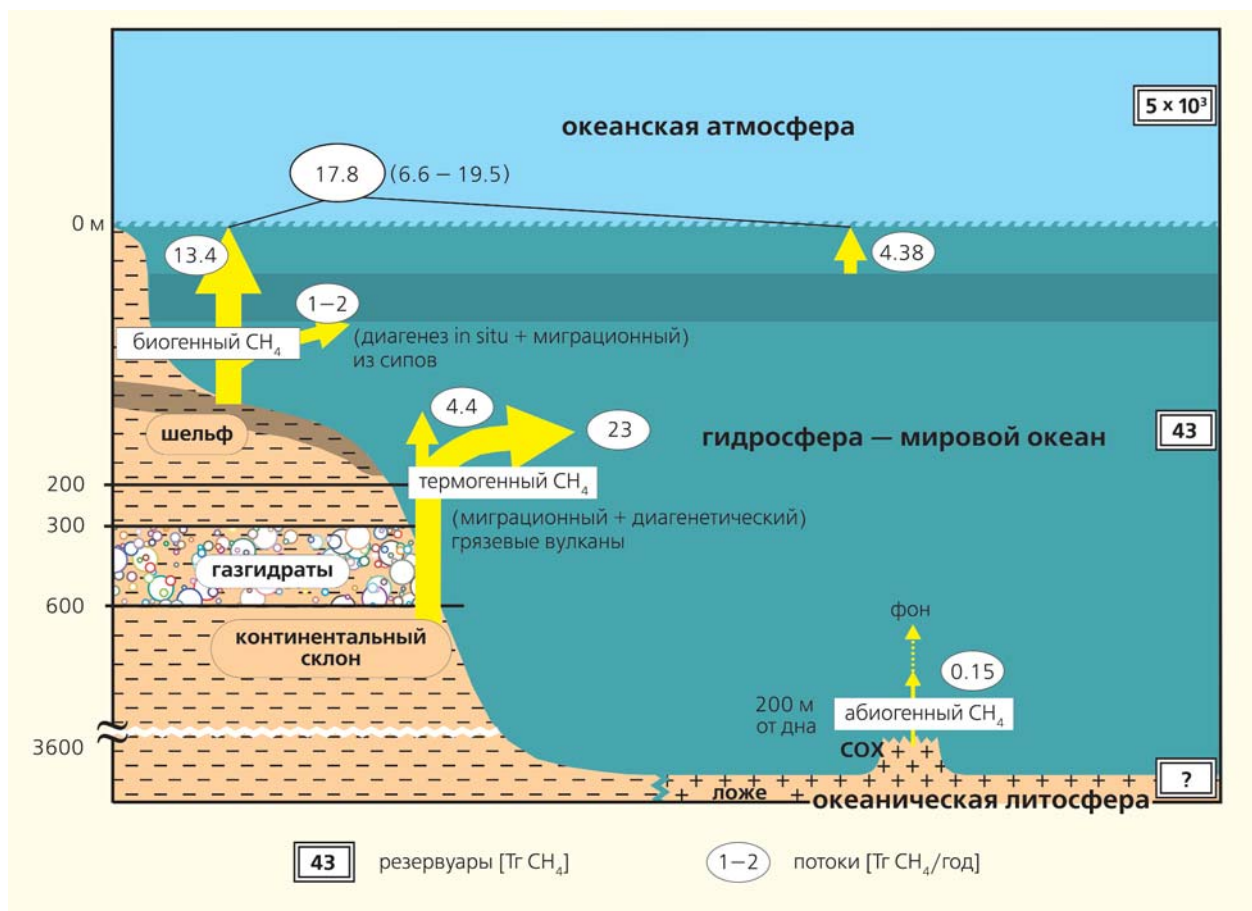
всех пробах — независимо от того, наблюдается в них процесс сульфатредукции или нет.

Мы стремились количественно оценить продукцию и потребление метана в осадках всех геоморфологических зон океана — от мелководных осадков устьевых взморий крупных рек и мангро-

Таблица

Резервуары и потоки метана в океане [2]

Параметры	Величины
Резервуар метана в океане	43.2 Тг ($2 \text{ нмоль} \cdot 1.35 \cdot 10^9 \text{ км}^3$)
Резервуар метана в Черном море	72 Тг
Поток метана при разложении пеллет в водной толще	$4.38 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
Поток метана при микробном метаногенезе из верхнего метра осадков, без мелководных (<50 м) и анаэробных водоемов	$>11 \cdot \text{Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
Поток метана при грязевом вулканизме:	
в период извержения	$14 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
в остальное время	$13 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
всего	$27 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
Дополнительный поток метана через осадки шельфа в водную толщу	$35 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
Поток гидротермального метана при подводном базальтовом вулканизме COX	$0.003\text{--}0.0115 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$
Поток метана из океана в атмосферу	$5\text{--}20 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$



Количественная модель биогеохимического цикла метана в океане.

вых зарослей до глубоководных осадков желобов и котловин.

Во многих наших экспедициях были проанализированы распределение и геохимическая активность метаногенов на всю мощность осадков, отбираемых геологическими трубками (до 3–6 м). Здесь уместно вспомнить, что при изучении скорости метаногенеза в толще мелководных осадков Каспийского моря этот процесс был прослежен до глубины 108 м от поверхности дна [1, 2].

Параллельно происходящее изменение изотопного состава углерода остаточных от процесса метаногенеза метана и углекислоты, обнаруженное при анализе материалов глубоководного бурения [2], позволяет предполагать, что в слаболитифицированных осадках микробный метаногенез продолжается по крайней мере до глубины 400 м от поверхности раздела вода—осадки. Некоторые исследователи допускают, что этот процесс активен до глубины около 1 км [3].

К.Клейтон [4] сообщает, что около 10% общего органического углерода может превратиться в CH_4 при оптимальных условиях. Это вызывает образование свободных фаз микробного (диагенетического) газа. В 10-метровой толще осадков

с содержанием 1% $\text{C}_{\text{орг}}$, по расчетам Клейтона, может образоваться до $5 \cdot 10^7 \text{ м}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{км}^{-2}$.

Таким образом, анализ имеющихся данных позволяет утверждать, что живые микроорганизмы, в том числе метаногены и метанотрофы, численность которых в осадках только «нормального» океана (т.е. без разгрузки метаносодержащих флюидов на дне) может достигать $10^8 \text{ кл} \cdot \text{мл}^{-1}$, играют важнейшую роль в цикле CH_4 во всех экосистемах океана.

Метаногенез и метаноокисление в осадках «нормального» океана

Количественные оценки суточной продукции микробного метаногенеза изменяются от десятков микромолей CH_4 на кубический дециметр осадка в мелководных бухтах Балтийского моря до долей наномолей на кубический дециметр осадка в олиготрофных районах Белого моря и Тихого океана.

Следует подчеркнуть, что процессы микробного диагенеза с продукцией $0.003\text{--}0.141 \text{ мкмоль} \text{CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ происходят во всех изученных

осадках склонов и даже подножья склонов океана до глубины 4 тыс. м. Лишь в осадках ложа океана, например в Сомалийской котловине и в красных глинах Тихого океана, на глубинах 4650–5072 м метаногенез не был обнаружен при чувствительности метода $0.001 \text{ нмоль CH}_4 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Таким образом, важным фактором, влияющим на скорость процессов метаногенеза, является глубина, на которой располагаются осадки. Это опосредованно связано с количеством и составом органического вещества и литологией отложений. Сравнительный анализ и значительный разброс величин, полученных даже в пределах одной и той же геоморфологической зоны, затрудняют оценки суточной и годовой продукции CH_4 не только в масштабе всего океана, но даже в отдельных морях. Наибольшие величины суммарной продукции CH_4 получены для внутриконтинентальных морей (Балтийского и Черного) и окраинных (Берингова и Карского). В пределах отдельных акваторий заметное увеличение продукции наблюдается в осадках у впадения крупных рек. В качестве примеров можно привести осадки Двинского залива Белого моря, Рижского залива Балтийского моря, устьевые взморья рек Оби и Енисея в Карском море, осадки у впадения реки Конго в зоне апвеллинга.

Сопоставление величин продукции CH_4 в осадках арктической зоны Норвежского моря в районе архипелага Шпицберген и в шельфовых осадках тропического района у берегов Перу показывает, что вне зависимости от температуры придонной воды скорость процессов метаногенеза варьирует в одних и тех же пределах (от 0.098 до $1.2 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Из этого следует, что температура оказывает заметно меньшее влияние на скорость метаногенеза в мелководных (менее 50 м) осадках, чем состав и количество поступающего в осадки органического вещества.

Суммарная продукция CH_4 в открытых водах шельфовых морей Северного Ледовитого океана

(Карского, Чукотского и Белого) составляет $0.793 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$ ($1 \text{ Тг} = 10^6 \text{ т}$) на площади $1552 \cdot 10^3 \text{ км}^2$.

В пересчете на всю площадь океанического шельфа ($26.7 \cdot 10^6 \text{ км}^2$) продукция микробного CH_4 составила бы $13.66 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$.

Мы попытались грубо оценить продукцию диагенетического метана в расчете на весь океан, используя величины продукции CH_4 в осадках различных геоморфологических зон лучше других исследованного Аравийского моря, занимающего, как известно, $\sim 1\%$ площади Мирового океана. Продукция метана, по этим данным, составляет $\sim 2 \text{ Тг} \cdot \text{CH}_4$ в год.

Полученные оценки очень приблизительны. Суммарная продукция в осадках океанического шельфа, рассчитанная по данным для арктических морей, скорее всего завышена. В арктическом море поступает огромное количество терригенного органического вещества, которое минерализуется в анаэробных мелководных осадках. Этот последний источник органического материала особенно важен в Карском море, в которое впадают крупные реки, в первую очередь Обь и Енисей.

Оценка продукции океанического метана, сделанная на основании результатов исследования осадков Аравийского моря, скорее всего, занижена, так как в ней не учтена продукция CH_4 в микробиологически очень активных осадках внутренних морей и мелководных зон океана. Нам представляется, что реальные величины годовой продукции диагенетического (микробного) метана могут составлять несколько десятков тераграмм углерода в год, что на порядок величин меньше годовой продукции микробного сероводорода, составляющей, по нашим данным, $\sim 492 \text{ Тг} \cdot \text{год}^{-1}$ [2].

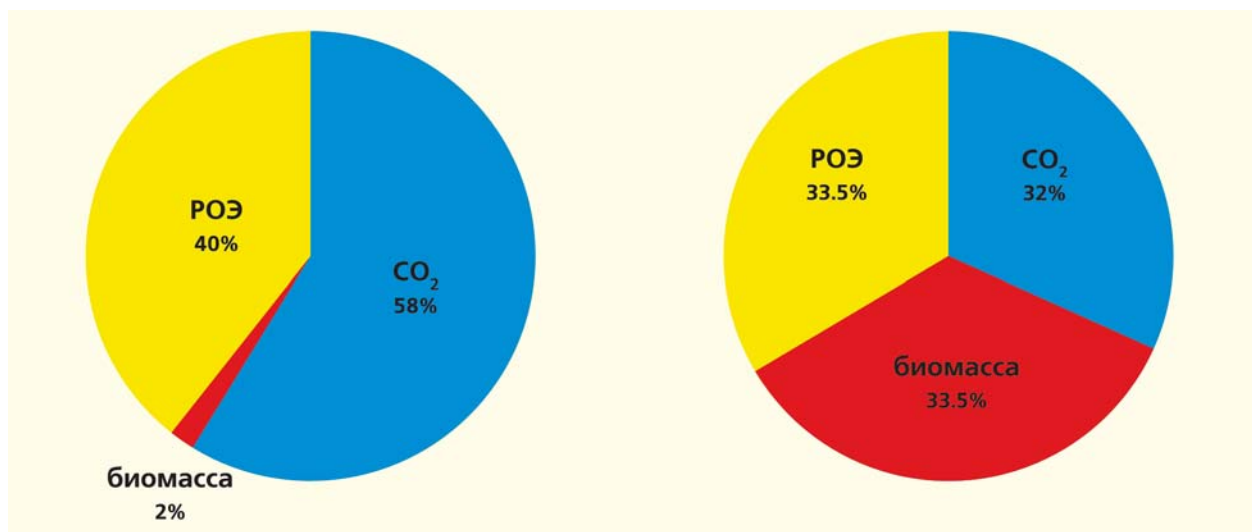
В целом активность процесса метаногенеза, так же, как и процесса сульфатредукции, при диагенезе осадков связана с циркумконтинентальной



Фрагмент карбонатной постройки на палубе научно-исследовательского судна «Профессор Логачев», состоящей из аутигенных карбонатов и микробных матов розового и черного (за счет FeS_{n-1} — гидротроилита) цветов (слева) и образец микробного мата с поверхности карбонатной постройки.



Здесь и далее фото из архива авторов



Продукты аэробного (слева) и анаэробного окисления метана (по радиоизотопным данным). При окислении CH_4 образуются растворенное органическое вещество — экзометаболиты (POЭ), биомасса микроорганизмов и CO_2 . К сожалению, обычно измеряется только количество CO_2 .

зональностью в океане: максимальная активность наблюдается в богатых органическим веществом осадках у континентов, в осадках же ложа океана с содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$ менее 0.3–0.5% активность падает до нулевых значений.

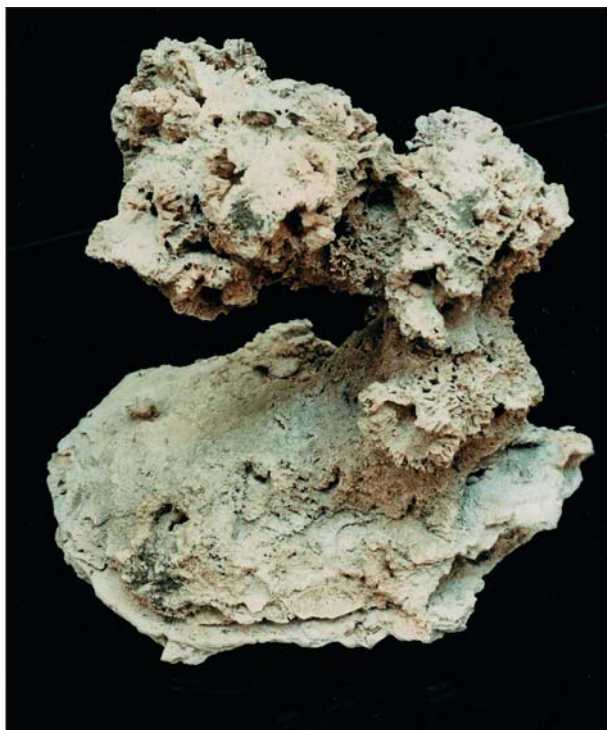
Наряду с процессами метаногенеза в исследуемых осадках происходят процессы микробного окисления CH_4 . Потребление метана при диагене-

зе осадков «нормального океана» меньше продукции CH_4 , что определяет, во-первых, вектор потока метана из осадков в водную толщу и, во-вторых, захоронение части диагенетического метана в отложениях дна на долгое (геологическое) время. На границе восстановленных и окисленных условий активная деятельность аэробных метанотрофов приводит к уменьшению концентрации CH_4 в придонных слоях воды по сравнению с верхними горизонтами осадков, что снижает поток диагенетического метана в водную толщу и даже в атмосферу.

Эксперименты с радиоактивно-меченым CH_4 позволили обнаружить и другой окислительный процесс — анаэробное окисление метана, локализованное в верхних горизонтах восстановленных осадков. Деятельность консорциума микроорганизмов, осуществляющих окисление CH_4 , связана, как принято считать, с потреблением сульфат-иона иловых вод.

На большинстве исследованных станций суммарная продукция CH_4 существенно превышала его потребление аэробными и анаэробными метанотрофами. Этим объясняется тот факт, что в восстановленных осадках накапливается метан.

В водной толще океана и во многих морях господствует окислительная обстановка, а растворенный кислород присутствует во всем столбе воды, вплоть до дна. В связи с этим основной процесс биогеохимического цикла метана в водной толще океана — окисление CH_4 , осуществляемое аэробными метанотрофами. Последние перехватывают потоки метана из донных осадков и снижают концентрацию растворенного CH_4 до фоновых величин (~0.3–0.5 нмоль). Лишь в самых мелководных районах шельфа часть диагенетическо-



Верхушка карбонатной постройки со дна Черного моря.

го метана может прорываться сквозь микробный фильтр в атмосферу.

На сегодняшний день установлено, что в «нормальном» океане поток метана в атмосферу определяется величиной продукции биогенного метана в подповерхностных горизонтах водной толщи. Это так называемый океанический метановый парадокс, поскольку строго анаэробный процесс метаногенеза происходит, на первый взгляд, в аэробной водной толще, хотя на самом деле он происходит в своеобразных анаэробных нишах во взвеси и в пищеварительном тракте планктонных животных.

Микробные процессы цикла метана в анаэробных водоемах

В отдельных районах Мирового океана анаэробные условия существуют не только в донных отложениях, но и в водной толще. Наиболее известный пример — Черное море, в котором из-за существенного поступления речных вод создается градиент солености, препятствующий вертикальному перемешиванию водной толщи, что приводит к созданию анаэробных условий и появлению сероводорода начиная с глубин 95—160 м.

Аналогичные причины приводят к анаэробизации придонных вод в глубоководных впадинах Балтийского моря и фиордов. В глубоководных впадинах тропической зоны океана (в море Банга и впадине Кариак в Карибском море) отсутствие перемешивания водной толщи обусловлено морфологией дна и температурной стратификацией водной толщи. В небольших глубоководных впадинах в восточной части Средиземного моря наличие градиента солености и появление сероводорода связано с растворением подповерхностных горизонтов соляных толщ. В двух районах Мирового океана — в Аравийском море и в бухте Уолфиш-Бей у западных берегов Африки — анаэробные условия и сероводородное заражение водной толщи возникают периодически, в результате интенсивного потребления кислорода при минерализации аномально высокого количества органического вещества, продуцируемого фитопланктоном.

С использованием материалов по распределению CH_4 в воде и донных осадках по результатам изучения скорости процессов метаногенеза и анаэробного метаноокисления на 30 глубоководных станциях Черного моря впервые доказано, что основная часть метана здесь образуется в самой водной толще. Метаногенез в верхних горизонтах донных осадков играет подчиненную роль в поставке CH_4 в водную толщу и, особенно, в атмосферу, а метан из глубоководных осадков (650—700 м), главным образом, консервируется в осадках в форме газгидратов.

Многочисленные метановые сипы и грязевые вулканы, расположенные на дне Черного моря,

поставляют CH_4 в водную толщу, но на их долю приходится около 20—25% от его годовой продукции в анаэробной зоне. Анализ результатов изучения скорости процессов образования и потребления CH_4 и величины $\delta^{13}\text{C}$ углерода метана показывает, что в верхней зоне анаэробной водной толщи преобладают процессы микробного метаногенеза, а в нижней зоне — процессы анаэробного окисления метана.

Метаноокисление в «возмущенном» океане

Изучение на дне океана областей разгрузки метана («возмущенный» океан) различного происхождения началось лишь в 1984 г. С тех пор только в Черном море обнаружено более 2 тыс. газово-пузырьковых струй на дне шельфа и континентального склона. Детальное изучение района сипов в Днепровском каньоне позволило оценить поток метана из них в $212 \text{ лCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ [2]. Не вызывает сомнения, что он имеет диагенетическое происхождение, а формирование сипов района связано с оползевым перемещением более молодых голоценовых осадков вниз по каньону. Это привело к выходу на поверхность дна доголоценовых отложений с накопившимся в них резервуаром микробного метана, изотопный состав которого легче, чем -60% .

Л.Димитров [5] оценил на болгарском шельфе число сипов и скорость эмиссии CH_4 ($0.4—3.5 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$) и рассчитал, что от 0.03 до 0.15 Тг CH_4 в год уходит в атмосферу. Димитров справедливо предполагает, что какая-то его часть окисляется в водной толще.

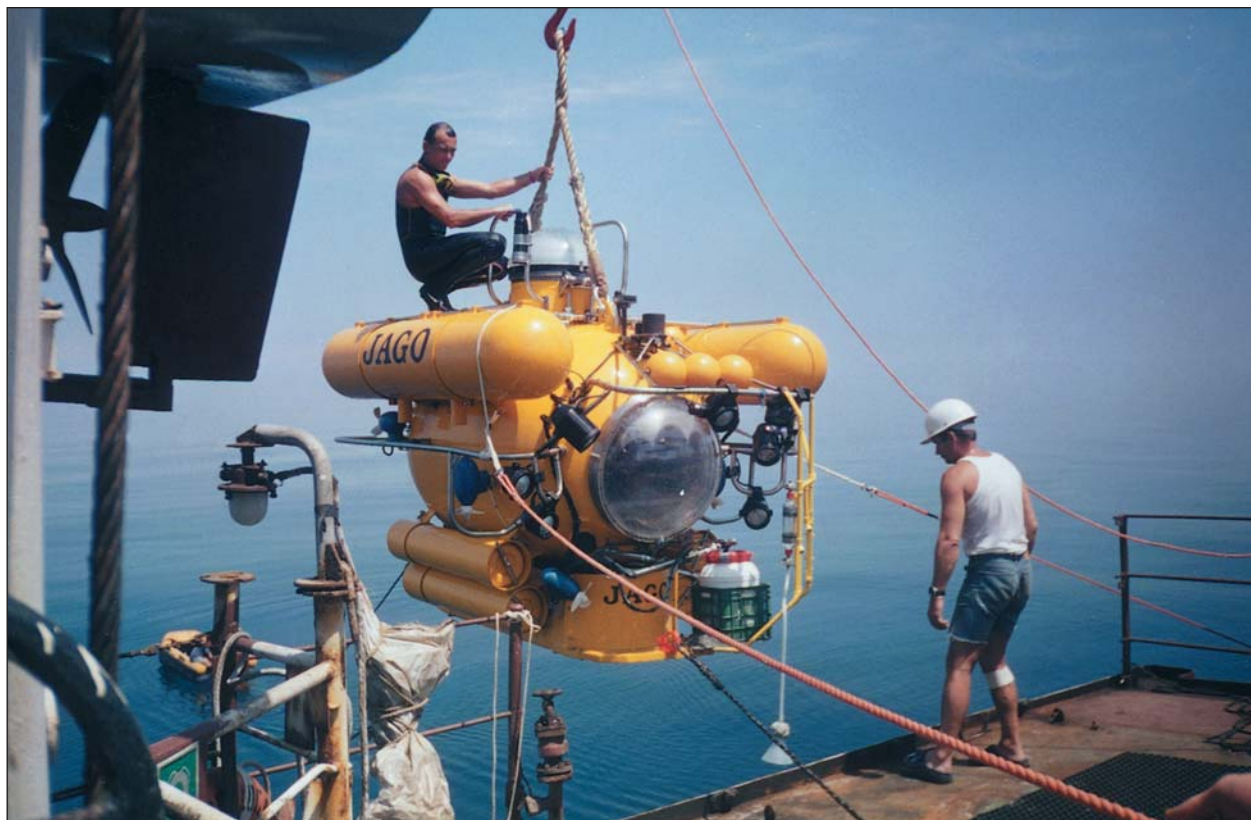
Важно подчеркнуть, что скорость анаэробного окисления на сипах была более чем в 50 раз выше, чем на несиповых участках дна [6]. Следовательно, в атмосферу поступает заметно меньше CH_4 , чем разгружается на дне.

Метановые сипы в анаэробных условиях, например на дне Черного моря глубже 150 м, формируют мощные карбонатные постройки, пронизанные микробными сообществами — матами. Другие организмы в этих условиях жить не могут.

Выходы CH_4 на дне в аэробной обстановке не сопровождаются мощным карбонатообразованием, как в Черном море, но дают жизнь не только микроорганизмам, но и специфическому сообществу симбионтных и гетеротрофных животных.

Газгидраты метана и подводный грязевой вулканизм

Метановые газгидраты впервые открыты российскими учеными в зоне вечной мерзлоты [7], а затем в осадках Черного моря [8, 9]. Одно из первых исследований геохимии и микробиологии поверхностного горизонта осадков с газгидрата-



Подводный обитаемый аппарат Jago (ГЕОМАР, Германия) на борту научно-исследовательского судна «Профессор Логачев» во время работы международной экспедиции (Германия, Россия, Украина) в палеорусле Днепра в Черном море. В этом районе известны многочисленные пузырьковые выходы метана (сипы) из карбонатных построек высотой до 4 м.

ми метана и процессов трансформации CH_4 , связанном с диссоциацией этих газгидратов, проведено нами в припарамуширском районе Охотского моря [2]. На примере охотскоморского сипа были выявлены все основные геохимические особенности, сопровождающие окисление CH_4 при разложении газгидратов: образование микробных матов; заселение сипового поля бентосными симбиотрофными животными, в данном случае моллюсками конхоцелиями; образование карбонатного цемента в нормально стратифицированных голоценовых отложениях. Состав поровых вод и изотопный состав карбонатов и $\text{C}_{\text{орг}}$ по сравнению с окружающими осадками — аномальные.

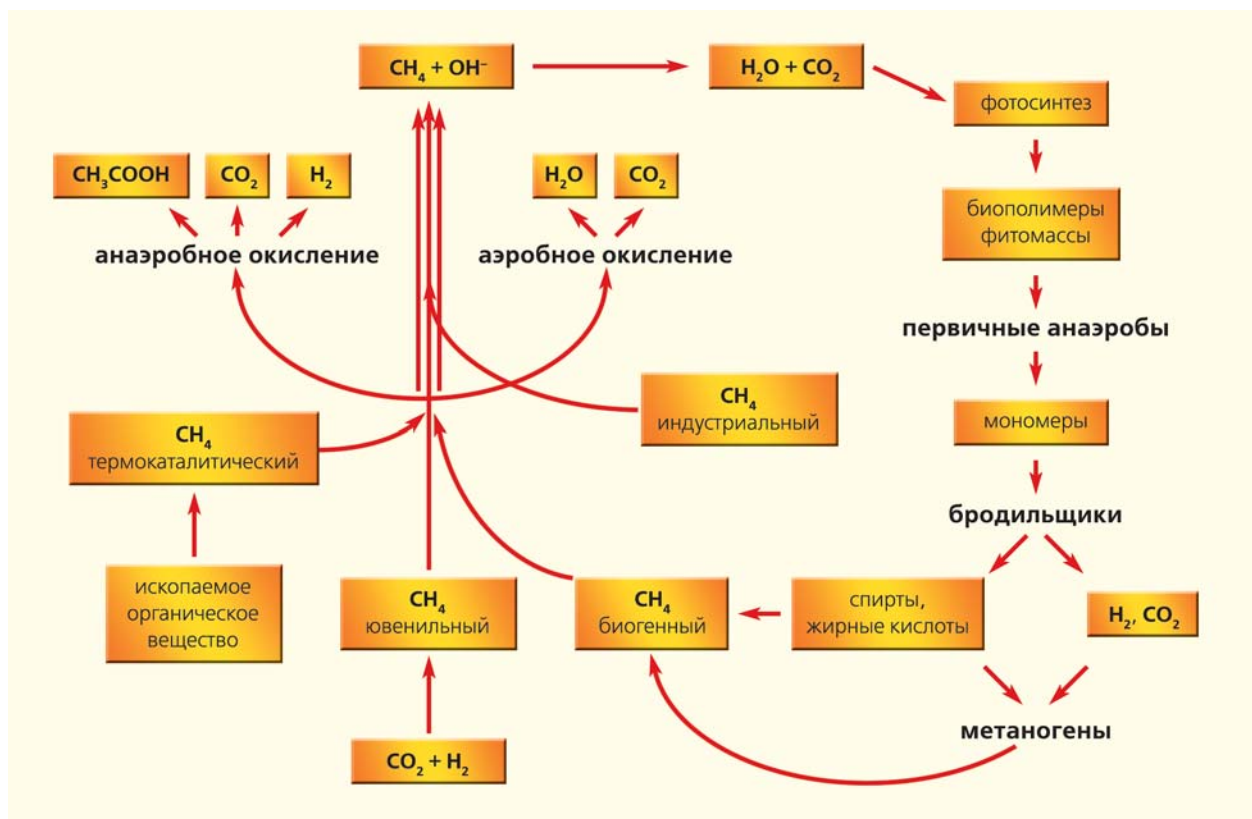
Изотопный состав CH_4 , равный -54% , свидетельствует в пользу термогенного источника метана, но не исключено, что утяжеление метана, хотя бы частично, вызвано процессом анаэробного метаноокисления. При дальнейших исследованиях в этом районе газовые гидраты были определены в верхнем 4-метровом слое осадков [10]. В Охотском море газгидраты обнаружены также в отложениях западного борта впадины Дерюгина (северо-восточный Сахалинский склон) в разрезе нормально стратифицированных отложений. Большинство исследователей этого района счита-

ют, что очаги разгрузки CH_4 контролируются зонами разломов. Связь газгидратных прослоев с грязевым вулканизмом не прослеживается.

На континентальном склоне Черного моря, где на дне активно проявляется грязевой вулканизм, газгидраты приурочены и к разрезу сопочной брекчи вулканов, и к нормально стратифицированным отложениям дна. Изотопный состав CH_4 черноморских газгидратов варьирует от -43.0 до -72.4% , что доказывает полигенный источник CH_4 в этих газгидратах, с преобладанием биогенного (микробного, диагенетического) метана.

При исследовании газгидратной залежи и связанных с ней метановых сипов на конвергентной окраине Каскадия у побережья штата Орегон было впервые установлено обеднение изотопом ^{13}C биомаркеров архей [11], а также определен консорциум метанооксиляющих архей и сульфатредукторов, участвующих в анаэробном окислении CH_4 [12]. Обеднение изотопом ^{13}C липидов архей отметили также исследователи, работавшие в районе развития сипов в бассейне Эль Ривер у побережья Калифорнии [13].

Безусловно, большая часть выходов метана на дне океана связана с грязевым вулканизмом. Один из наиболее ярких и хорошо изученных приме-



Круговорот метана в природе.

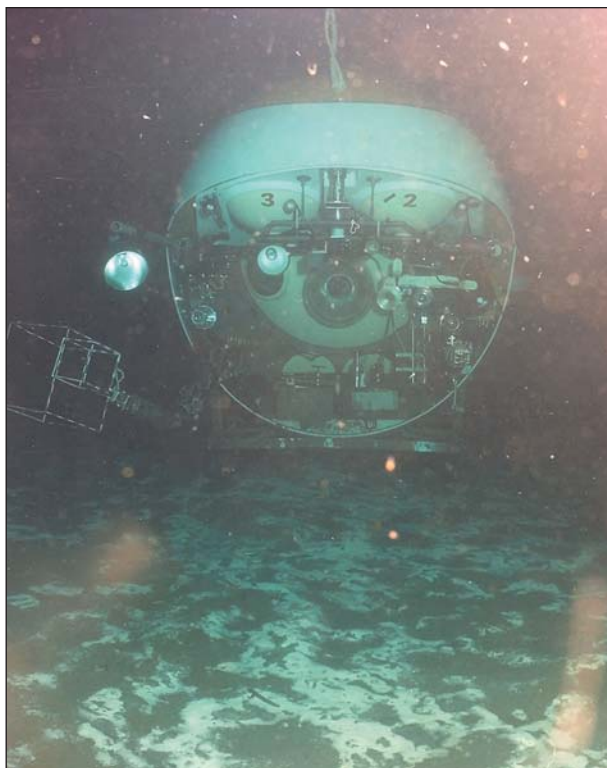
ров — вулкан Хаакон Мосби [2]. Он остается пока единственным подводным грязевым вулканом, где работали российские глубоководные обитаемые аппараты. Это дало возможность детально изучить геоморфологию и литологию кальдеры, количественно оценить распределение биомассы микроорганизмов и симбиотрофных животных, а самое главное — понять механизмы биогеохимических процессов, происходящих при поступлении CH_4 на дно при грязевом вулканизме. В пределах кальдеры вулкана практически на поверхности обнаружены газгидраты, образование которых связано с миграцией углеводородов снизу к поверхности дна при грязевом диапиризме. Поровые воды сопочной брекчии вулкана обеднены хлором и сульфат-ионом. При подъеме метана к границе раздела вода—дно опресненные за счет диссоциации газгидраты бессульфатных поровых вод смешиваются с окружающей морской водой, содержащей сульфат-ион. Именно в зоне смешения этих двух жидких сред в анаэробных условиях начинаются процессы окисления CH_4 и микробной сульфатредукции. Они сопровождаются выделением свободного сероводорода с образованием аутигенных карбонатов и синтезом дополнительного органического вещества в составе биомассы метанокисляющих микроорганизмов и их экзометаболитов (растворенное $\text{C}_{\text{орг}}$). Окисление сероводорода на

поверхности дна в аэробной зоне приводит к массовому развитию микробных матов, т.е. к активному процессу хемосинтеза.

Полученные нами количественные оценки скорости анаэробного окисления CH_4 в слое 0—20 см составили $0.15 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, или за год (с учетом площади кальдеры) — $1.4 \cdot 10^4 \text{ м}^3$. В водной толще над кальдерой окисляется $48 \text{ нл} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$, или $73 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. Микроорганизмы потребляют ~10% ме-



Газгидраты метана в отложениях грязевого вулкана Хаакон Мосби (Норвежское море).



Российский глубоководный аппарат «Мир» на дне Норвежского моря. Глубина 1200 м. Белые пятна на переднем плане — микробные маты. Фото сделано с другого аппарата «Мир».

тана от его общего потока — $1.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. На поле сипов Гидрат Ридж бактериальные маты потребляют до 50%, а калиптогены — до 15% общего потока метана [12].

Возраст углерода аутигенных карбонатов в постройках кальдеры составляет 11–15 тыс. лет, с «омоложением» в верхушечной части построек. Это заниженные оценки, поскольку в анализируемую пробу аутигенных карбонатов неизбежно попадает современный седиментационный раковинный карбонат. По-видимому, массовые находки карбонатных построек на дне в области континентальных окраин связаны с разрушением газгидратных залежей во время последнего (вюрмского) оледенения, при котором уровень океана понижался на 100–130 м. Подобные карбонатные «риффы» имеют глобальное распространение.

Важно отметить, что на Хаакон Мосби, на вулканах Черного и Охотского морей, в Мексиканском заливе, на Ангольском континентальном склоне, на поле Гидрат Ридж гидраты залегают в осадках в нескольких сантиметрах ниже поверхности дна. Присутствие газа в гидратном состоянии вблизи поверхности морского дна возможно только при условии его постоянного подтока. Следовательно, в осадочном разрезе перечисленных районов должны находиться резер-

вуары углеводородов, из которых CH_4 в составе флюидов поднимается к поверхности дна и при благоприятных условиях осажается в виде газгидратов. В случае кальдеры грязевого вулкана Хаакон Мосби наряду с образованием газгидратов в приповерхностных отложениях происходит разложение газгидратов в жерле вулкана, т.е. там, где имеется мощный тепловой поток. Газгидратные прослои представляют собой очень динамичные системы, где рядом могут происходить процессы формирования и разрушения газгидратов метана.

В морских газгидратах, по последним оценкам, заключено 2100–3600 Гт ($1 \text{ Гт} = 10^{15} \text{ г}$) CH_4 [14, 15]. Предполагается, что грязевые вулканы, связанные с газгидратами континентальных окраин, могут поставлять в атмосферу 6–13 Тг $\text{CH}_4 \cdot \text{год}^{-1}$. Величина эмиссии метана в атмосферу из подводных грязевых вулканов составляет 3.2–4.3 Тг $\text{CH}_4 \cdot \text{год}^{-1}$ [5]. На Хаакон Мосби поток метана из вулкана составляет $2.6 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, или $1.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$ [16]. В то же время в водной толще выше 40 м над дном кальдеры получены лишь фоновые концентрации метана, т.е. потока в атмосферу над Хаакон Мосби не обнаружено. Экспериментально определено, что растворенный CH_4 диффузных потоков окисляется со скоростью $0.15 \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, а частично разносится течениями на десятки километров. Иначе выглядит картина трансформации CH_4 при газовопузырьковом потоке метана. В Днепровском каньоне зафиксирован значительный поток такого метана, доходящий иногда даже до приводного слоя атмосферы ($212 \text{ л} \cdot \text{CH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Свободный метан газовых пузырьков не используется при микробных процессах окисления, в отличие от растворенного диффузного CH_4 . Следовательно, приведенные оценки потока метана с грязевых вулканов, на которых, как правило, преобладают диффузные высачивания CH_4 , завышены.

Глубоководные гидротермальные поля

Гидротермальные поля срединно-океанических хребтов — еще один источник поступления CH_4 в океан. Величина суммарного потока метана с гидротермальными флюидами через осевые зоны (по изотерме 300°C) и через фланги (по изотерме $130\text{--}150^\circ\text{C}$) хребтов лежит в пределах $5.4\text{--}196.5 \cdot 10^9 \text{ моль} \cdot \text{год}^{-1}$ (при вариации концентраций CH_4 $10\text{--}300 \text{ мкмоль} \cdot \text{л}^{-1}$ во флюидах).

Приведенные оценки следует рассматривать как минимальные, поскольку в расчет вошли только концентрации CH_4 во флюидах наиболее распространенных в океане глубоководных гидротермальных полей, связанных с базальтовым вулканизмом. В расчете не использованы высокие концентрации CH_4 из гидротермальных полей с осадочным чехлом (типа Гуаймас), а также его концентрации во флюидах полей серпентинито-

вых протрузий (типа Рэйнбоу, Логачев) и полей вблизи Азорской точки тройного сочленения, в которых концентрация CH_4 на один-два порядка (2.1—2.6 мкмоль) превышает концентрацию во флюидах осевых гидротермальных систем с базальтовым вулканизмом.

Величина потребления метана в местах выхода гидротермальных флюидов, связанных с базальтовым вулканизмом, составила, по экспериментальным данным, $0.17\text{--}8.71 \cdot 10^6$ моль·год⁻¹.

Полученные оценки потока CH_4 с гидротермальными флюидами показывают, что abiогенный метан — важный компонент собственно экосистемы гидротермальных полей и придонных вод в районе срединно-океанических хребтов, но вклад abiогенного метана в общий баланс CH_4 в океане с учетом его микробного потребления составляет примерно 10^9 моль·год⁻¹. Этот метан не доходит до атмосферы, поскольку в 200—300 м от дна его концентрация в водной толще над гидротермальными полями уже соответствует фоновой.

Очевидно, что abiогенный метан не только используется микроорганизмами и бентосным сообществом для синтеза нового органического вещества и увеличения пула углекислоты в глубоководном океане, но может также разноситься течениями на десятки километров от гидротермальных источников.

На сегодняшний день изучена лишь малая часть подводных гидротермальных систем, и по-

этому исследователей ожидает еще много открытий, связанных с abiогенным метаном глубоководного океана.

* * *

Таким образом, в экосистеме современных осадков океана главный процесс в цикле CH_4 — микробный метаногенез, а микробное окисление CH_4 в раннем диагенезе осадков играет второстепенную роль. В экосистеме океана с разгрузкой растворенного метана флюидов в приконтинентальных участках дна и в глубоководном океане в районе срединно-океанических хребтов главный процесс в цикле CH_4 — микробное окисление, как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Последнее обстоятельство — чрезвычайно важный факт, поскольку, во-первых, снижает метановую нагрузку на океанскую экосистему в целом и, во-вторых, поддерживает глубоководную и подповерхностную биосферу.

Оценка потока метана из океана в атмосферу колеблется в пределах $5\text{--}20$ Тг·год⁻¹ [3]. Реальный его поток в атмосферу обеспечивают главным образом процессы метаногенеза в анаэробных микронивах в подповерхностных горизонтах водной толщи, а также мелководные осадки шельфа, эстуариев (глубина менее 100 м) и зон литорали.

В целом, океан — гигантский реактор, в донных отложениях которого происходит микробный синтез метана, а в водной толще — окисление его метанотрофными микроорганизмами. ■

Литература

1. Иванов М.В., Беляев С.С., Лауринавичус К.С., Образцова А.Я. // Геохимия. 1980. №3. С.416—422.
2. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М., 2009.
3. Judd A., Howland M. Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge, 2007.
4. Clayton C. Source Volumetrics of Biogenic Gas Generation // Bacterial Gas / Ed. K.Vially. 1992. P. 191—204.
5. Dimitrov L.I. // Continental Shelf Research. 2002. V.22. P.2429—2442.
6. Joye S.B., Boetius A., Orcutte B.N. et al. // Chemical Geology. 2004. V.205. P.219—238.
7. Макагон Ю.Ф., Трофимук А.А., Царев В.П., Черский Н.В. // Геология и геофизика. 1973. №4. С.3—6.
8. Ефремова А.Г., Жижченко Б.П. // Докл. АН СССР. 1974. Т.214. №5. С.1179—1181.
9. Кремлев А.Н., Гинсбург Г.Д. // Геология и геофизика. 1989. №5. С.110—111.
10. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И. и др. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток, 1999.
11. Elvert M., Suess E., Greinert J., Whiticar M.J. // Org. Geochem. 1999. V.31. P.1175—1187.
12. Boetius A., Ravenschlag K., Schubert C.J. et al. // Nature. 2000. V.407. P.623—626.
13. Heinrichs S.M., Hayes J.M., Sylva S.P. et al. // Nature. 1999. V.398. P.802—805.
14. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб., 1994.
15. Milkov A.V., Sassen R., Apanasovich T.V., Dadashev F.G. // Geophysical research letters. 2003. V.30. P.1037.
16. Ginsburg G.D., Milkov A.V., Soloviev V.A. et al. // Geo-Marine Letters. 1999. V.19. P.57—67.

Квантовые точки в биологии и медицине

В.А.Олейников

Успехи в развитии синтеза флуоресцентных нанокристаллов (квантовых точек) с заданными свойствами открыли пути создания нового класса флуорофоров для многочисленных биологических и медицинских применений. Флуоресцентные нанокристаллы, детектируемые в обычных флуоресцентных микроскопах, позволяют визуализировать процессы на уровне единичных молекул. По сравнению с органическими флуорофорами нанокристаллы обладают высокой яркостью, уникально высокой фотостабильностью и узким симметричным пиком эмиссии. Такие уникальные свойства делают их идеальными флуорофорами для сверхчувствительной, многоцветной детекции биологических объектов и для медицинской диагностики, требующей одновременной регистрации многих параметров.

В последние годы это направление успешно развивается в Институте биоорганической химии им.М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН совместно с Реймским университетом (Франция).

Уменьшение размера частицы приводит к появлению весьма необычных свойств материала, из которого она сделана. Причина этого — пространственное ограничение движения носителей заряда. Их энергия в этом случае становится дискретной. Число уровней энергии зависит от размера потен-



Владимир Александрович Олейников, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института биоорганической химии им.М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Область научных интересов — коллоидные системы, наночастицы, строение молекул и молекулярная спектроскопия.

циальной ямы, высоты потенциального барьера и массы носителя заряда. Увеличение ширины ямы ведет к росту числа уровней энергии, которые при этом приближаются друг к другу. В пределе, когда яма становится бесконечно широкой, энергетический спектр оказывается непрерывным. Ограничить движение носителей заряда можно по одной координате, формируя таким образом квантовые пленки, по двум координатам — образовывая квантовые проволоки или нити, или по всем трем направлениям — формируя квантовые точки (КТ).

Полупроводниковые нанокристаллы — это промежуточные структуры между молекулярными кластерами и сплошными (массивными, непрерывными) материалами. Границы между ними не определены с достаточной четкостью и зависят от материала. К нанокристаллам принято относить частицы, со-

державшие от 100 до 10 тыс. атомов. Нижний предел этого диапазона определяется стабильностью кристаллической структуры, свойственной сплошным материалам. Верхний — соответствует размерам, для которых интервалы между уровнями энергии приближаются к значению тепловой энергии kT (T — температура, k — постоянная Больцмана), когда носители заряда становятся мобильными.

Естественный масштаб длины для электронных возбужденных областей в макроскопических непрерывных полупроводниках определяется радиусом экситона Бора a_x , который зависит от силы кулоновского взаимодействия между электроном (e) и дыркой (b). В кристаллах, размеры которых сопоставимы с a_x или меньше его, сами частицы определяют пространственную форму пары e - b и, следовательно, размер экситона. Тогда энергии электронов непосредственно зависят от степени про-

странственного ограничения их волновых функций (т.е. от размера нанокристалла). Это явление известно как эффект квантового ограничения. Используя его, можно непрерывно регулировать ширину запрещенной зоны нанокристалла E_g , просто изменяя его размер (табл.1).

Как физический объект квантовые точки известны и изучаются довольно давно. В форме коллоидных нанокристаллов каждая квантовая точка представляет собой изолированный мобильный объект, находящийся в растворителе. Такие нанокристаллы можно использовать для построения различных ассоциатов, гибридов, упорядоченных слоев и т.п., на основе которых конструируют элементы электронных и оптоэлектронных устройств, пробники и сенсоры для анализов в микрообъемах вещества, различные флуоресцентные, хемилюминесцентные и фотоэлектрохимические датчики.

Стремительное проникновение полупроводниковых нанокристаллов в разнообразные области науки и технологии определяет их уникальные оптические характеристики [1, 2]. Во-первых, это узкий симметричный пик флуоресценции (в отличие от известных органических красителей, имеющих длинноволновый «хвост»). Во-вторых, широкая полоса возбуждения, которая позволяет возбуждать нанокристаллы разных цветов одним источником излучения (рис.1, 2). В третьих, высокая яркость флуоресценции, определяемая высоким значением экстинкции и высоким квантовым выходом (для нанокристаллов CdSe/ZnS структуры ядро/оболочка — до 70%). И, наконец, уникально высокая фотостабильность, позволяющая использовать источники возбуждения высокой мощности (рис.3, 4).

Принцип получения нанокристаллов состоит в быстрой инъекции прекурсоров в реакционную среду при высокой температуре (300—350°C) с по-

Таблица
Радиусы экситона Бора для разных полупроводников

Полупроводник	Радиус экситона Бора, нм
CuCl	1
CdSe	6
PbS	20
InAs	34
PbSe	46
InSb	54

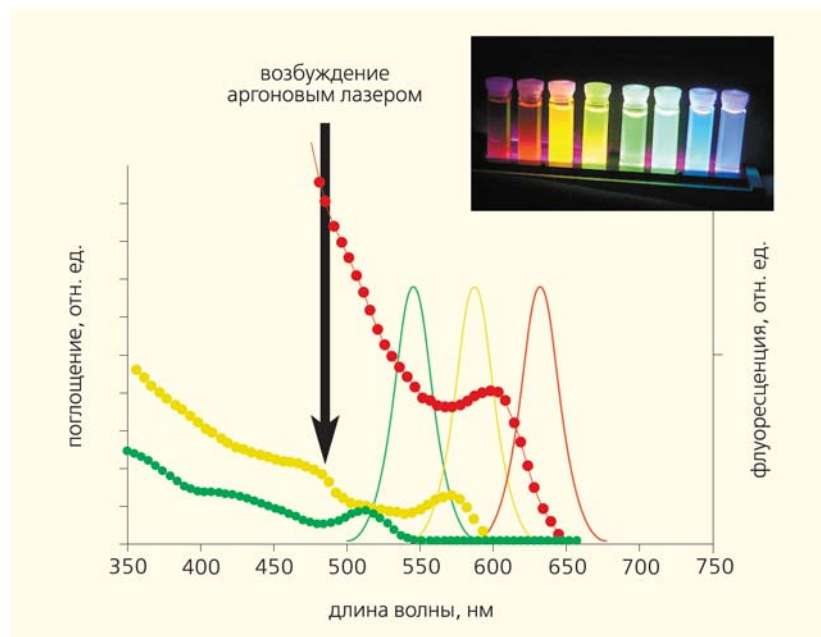


Рис.1. Спектры флуоресценции нанокристаллов CdSe. Нанокристаллы разных цветов возбуждаются одним источником — аргоновым лазером (длина волны 488 нм). На врезке — флуоресценция нанокристаллов CdSe/ZnS разных размеров (цветов), возбуждаемых УФ-лампой.

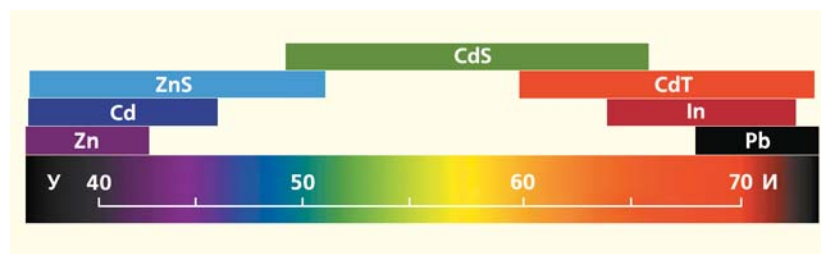


Рис.2. Диапазоны флуоресценции нанокристаллов из разных материалов.

следующим медленным ростом нанокристаллов при относительно низкой температуре (250—300°C). Условия синтеза подбирают так, чтобы реализовался так называемый фокусирующий режим роста: растут все кристаллы, но скорость

роста маленьких частиц больше скорости роста больших. В результате уменьшается разброс по размерам нанокристаллов [3, 4].

Технология контролируемого синтеза дает возможность управлять формой частиц, исполь-

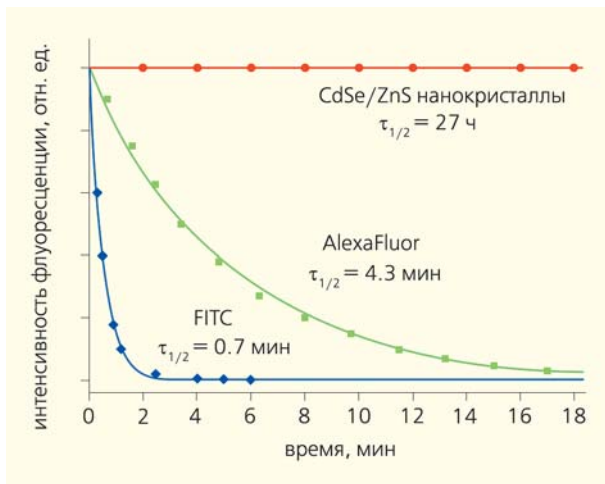


Рис.3. Фотостабильность нанокристаллов. Изменение интенсивности флуоресценции нанокристаллов и органических красителей (AlexaFluor и FITC) под лучом ртутной лампы во флуоресцентном микроскопе.

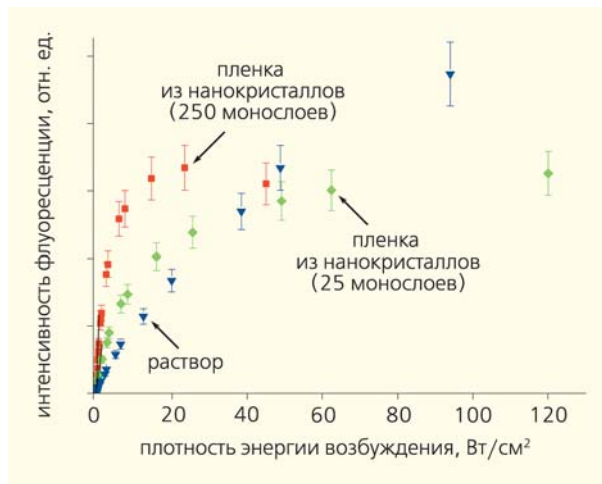


Рис.4. Интенсивность флуоресценции нанокристаллов CdSe при высокой плотности мощности возбуждения. Нанокристаллы продолжают флуоресцировать при плотностях мощности, достигающих 10^7 Вт/см².

зую анизотропию нанокристаллов. Характерная кристаллическая структура конкретного материала (например, для CdSe — гексагональная упаковка, вюрцит) опосредует выделенные направления роста, что позволяет вытягивать нанокристаллы вдоль выделенных осей [5]. Так формируют наностержни (quantum rods) или тетраподы — кристаллы, вытянутые в четырех направлениях (рис.5).

С самого начала нанокристаллы из полупроводников групп II–VI, синтезируемые при высокой температуре, обладали рядом свойств, ограничивающих их практическое применение. Во-первых, квантовый выход люминесценции оставался

намного ниже, чем у широко известных органических флуоресцентных красителей. Во-вторых, фотостабильность так называемых ядер нанокристаллов была низка. Оба параметра ухудшались, когда нанокристаллы попадали в водные растворы. Проблему создавало и качество ядер нанокристаллов: множество поверхностных дефектов работает как безызлучательные центры рекомбинации или ловушки для возбужденных *e-h*-пар, которые уменьшают квантовый выход флуоресценции. Квантовое размерное ограничение в полупроводниковых кристаллах нанометрового размера вызывает сильное взаимодействие между возбужденными *e-h*-парами и окру-

жающей средой. Преодолеть его можно, создав между ядром нанокристалла и окружающей средой барьер, который изолирует *e-h*-пару, увеличивает время жизни и уменьшает безызлучательную рекомбинацию. Значит, квантовый выход флуоресценции и фотостабильность возрастут. Для решения этой проблемы достаточно нескольких монослоев широкозонного материала. Сегодня наиболее известные флуоресцентные нанокристаллы имеют структуру ядро/оболочка. Усовершенствование синтеза нанокристаллов CdSe/ZnS позволяет достичь квантового выхода 90%, что близко к лучшим органическим флуоресцентным красителям.

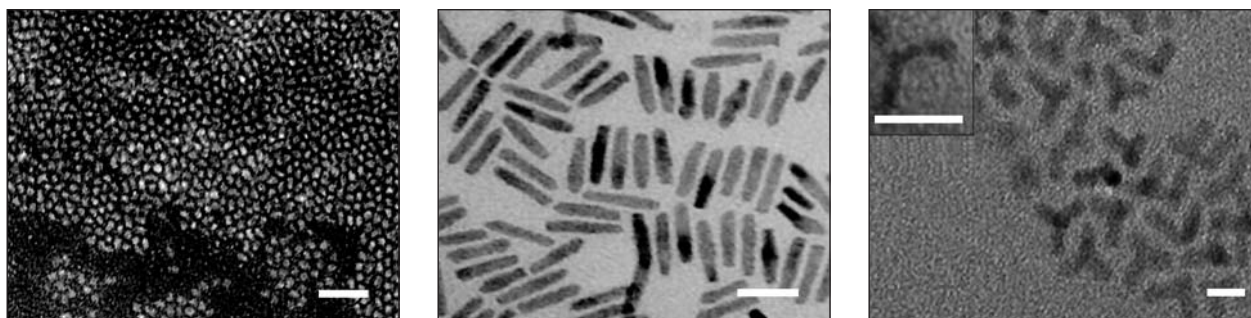


Рис.5. Разные формы нанокристаллов CdSe/ZnS. Слева направо: сферическая, стержневидная и в виде тетраподов. Просвечивающая электронная микроскопия. Масштаб — 20 нм.

Флуорофоры в медицине и биологии

Уникальные свойства квантовых точек в форме нанокристаллов можно использовать во всех системах мечения и визуализации биологических объектов (за исключением внутриклеточных меток, экспрессируемых генетически). Солюбилизированные нанокристаллы вводятся в объект непосредственно или после присоединения к их поверхности специальных распознающих молекул (обычно это антитела или олигонуклеотиды). Нанокристаллы проникают в объект и распределяются по нему в соответствии со своими свойствами [6, 7]. Так, проникновение нанокристаллов разных размеров через биологические мембраны зависит от их размера, определяющего цвет флуоресценции (рис.6). Наличие распознающих молекул на поверхности нанокристаллов делает возможным адресное связывание. К примеру, определенный объект в биомедицинской пробе (например, опухолевый) можно окрасить заданным цветом [8].

Как уже указывалось, узкий и симметричный пик флуоресценции нанокристаллов дает возможность надежно выделять

цветной сигнал флуоресценции (до 10 цветов в видимом диапазоне). В то же время широкая полоса флуоресценции нанокристаллов позволяет возбуждать нанокристаллы всех цветов единым источником. Эти свойства, а также высокая фотостабильность нанокристаллов, делают их идеальными флуорофорами для многоцветного спектрального кодирования объектов; создания систем кодирования, подобных штрихкодовым, но с использованием возможностей многоцветности; формирования «невидимых» кодов, флуоресцирующих в инфракрасной области.

В настоящее время все шире применяют так называемые жидкие микрочипы, которые, подобно классическим плоским чипам, позволяют одновременно анализировать множество различных параметров. Основа действия жидких микрочипов — спектральное кодирование (рис.7). Каждый элемент микрочипа содержит заданные количества квантовых точек определенных цветов, т.е. индивидуальный спектральный код, представляющий собой набор цветных сигналов заданной интенсивности. Такой код приписывается каждому идентифицируемому объекту и при идентифи-

кации считается с каждого элемента индивидуально.

Такими кодированными микроэлементами можно метить любые объекты. Будучи внедренными в полимерные матрицы, они становятся чрезвычайно устойчивыми и долговечными. Одно из важнейших их применений — идентификация биологических объектов для ранней диагностики. При этом к каждому спектрально кодированному элементу микрочипа присоединяется определенная распознающая молекула [9, 10]. В растворе присутствует вторая распознающая молекула, сконъюгированная с сигнальным флуорофором. Одновременное появление флуоресценции спектрально кодированного микрочипа и сигнального флуорофора свидетельствует о присутствии в анализируемой смеси детектируемого объекта.

Кодированные микрочастицы анализируются двумя методами: проточной цитометрии и микроспектроскопии. В первом случае раствор, содержащий микрочастицы, проходит через облучаемый лазером канал. При этом в зоне возбуждения регистрируются спектральные характеристики каждой частицы. Специальное программное обеспечение позволяет выявить

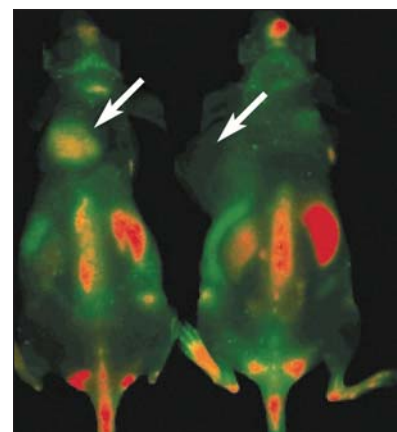
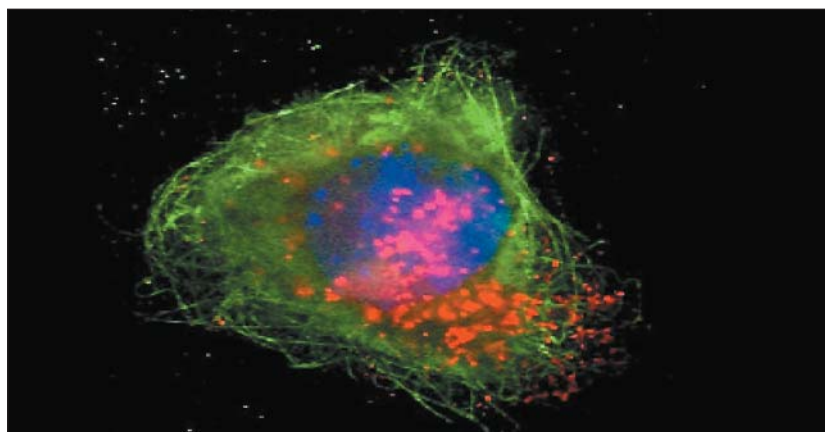


Рис.6. Флуоресценция нанокристаллов (красный цвет) на фоне микроструктуры клеточного цитоскелета (зеленый цвет) фагоцитов человека (ядро, окрашенное красителем DAPI, — синее). Нанокристаллы остаются фотостабильными в клетках в течение как минимум 24 ч и не вызывают нарушений структуры и функции клеток. Справа — нанокристаллы, сконъюгированные с пептидом RGD в опухолевой области (левая стрелка). Рядом (правая стрелка) — контроль, введение нанокристаллов без пептида, опухоль не выявляется. Конфокальная микроскопия.

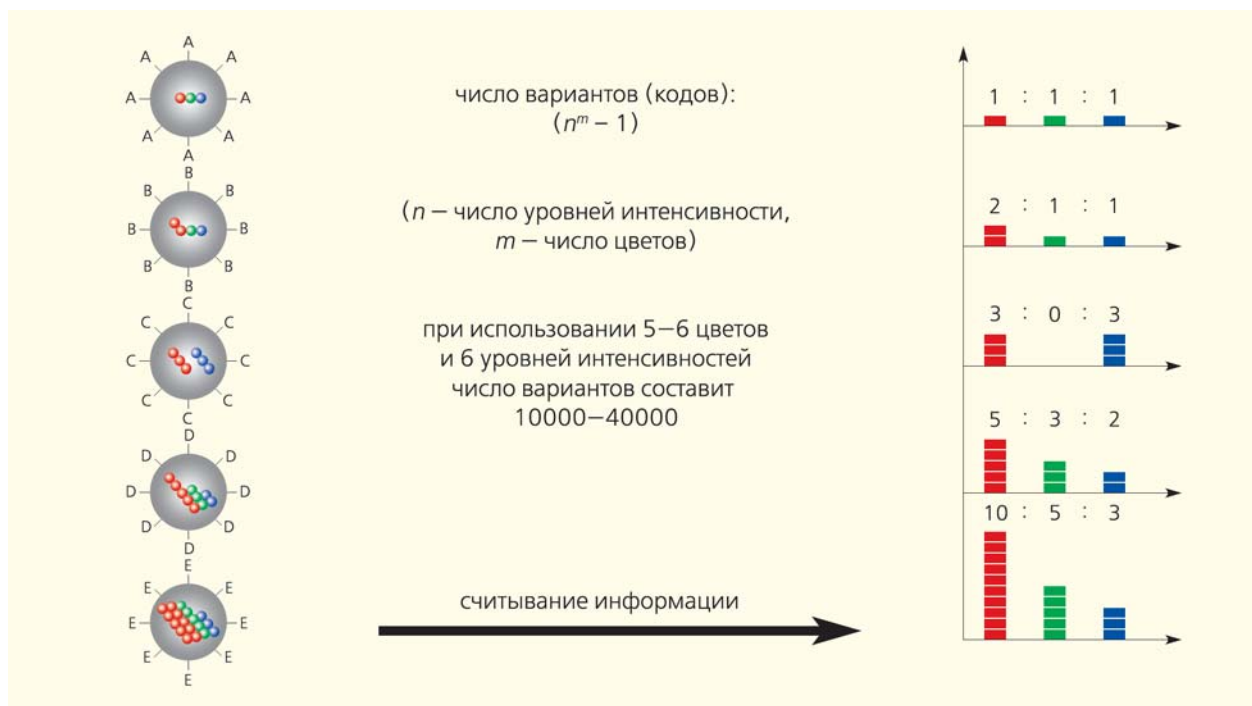


Рис.7. Принцип спектрального кодирования. Каждый элемент микрочипа (твердотельного планарного или жидкого в форме коллоидных микрочастиц) содержит заданные количества квантовых точек определенных цветов. Для идентификации спектральный код должен считываться с каждого элемента микрочипа индивидуально.

и охарактеризовать события, связанные с появлением в пробе соединений маркеров, например маркеров раковых или аутоиммунных заболеваний. В последнее время все большее внимание уделяется микроспектроскопическому подходу. Спектрально кодированные микрочастицы осаждаются на подложку. С помощью конфокальной или ближнепольной микроскопии определяют их спектральные характеристики. Такой метод обеспечивает накопление сигнала в течение длительного времени, что повышает чувствительность и достоверность измерений. При кодировании микрочипов органическими красителями время накопления ограничено из-за тушения возбуждающим излучением. Использование квантовых точек снимает это ограничение и приводит к уникальной чувствительности детекции в единичных объектах.

С помощью полупроводниковых флуоресцентных нанокристаллов можно создавать си-

стемы с десятками тысяч распознаваемых кодов, используя для возбуждения единственный источник излучения [9, 11], а также микроанализаторы для одновременной регистрации огромного числа объектов.

Другое направление использования квантовых точек — создание зондов для измерения параметров среды в локальных областях нанометрового размера. В основе действия таких инструментов лежит использование эффекта ферстеровского резонансного переноса энергии (Förster Resonance Energy Transfer — FRET). Суть его заключается в том, что при сближении двух объектов с перекрывающимися спектрами флуоресценции (донора) и поглощения (акцептора) энергия от донора к акцептору передается безызлучательно. При этом интенсивность флуоресценции донора снижается, а акцептора, если это флуорфор, возрастает. Эффект FRET очень сильно зависит от расстояния между объектами

(обратно пропорционально 6-й степени расстояния), что позволяет легко определять конформационные изменения.

Три параметра квантовых точек делают их весьма привлекательными донорами в системах с FRET-форматом. Во-первых, они позволяют с высокой точностью подбирать длину волны эмиссии для получения максимального перекрытия двух спектров — эмиссии донора и возбуждения акцептора. Во-вторых, разные квантовые точки можно возбуждать одной длиной волны одного источника возбуждения, а также в спектральной области, далекой от длины волны эмиссии (более чем на 100 нм). Последние две позиции особенно важны для разработки систем многоцветного одновременного анализа разных объектов (мультиплексинг).

Примерами созданных к настоящему времени зондов служат наноразмерные сенсоры для измерения концентрации водородных ионов (pH) и ионов

металлов в локальной области образца. Чувствительный элемент в таком сенсоре — слой индикаторных молекул, изменяющих свои оптические свойства при связывании с конкретным детектируемым ионом. В результате изменяется степень перекрытия спектров поглощения индикатора и испускания флуоресценции квантовых точек и, соответственно, эффективность передачи энергии. В таких системах чувствительные элементы — сами молекулы, которые служат индикаторами концентрации ионов металла. Концентрация заданного иона влияет на спектральные характеристики индикаторов, что проявляется в изменении их спектра поглощения. В свою очередь, это отражается на эффективности переноса энергии и вызывает изменение интенсивности флуоресценции. Таким образом происходит смена метода индикации: вместо колориметрии (по изменению цвета) используется флуориметрия, чувствительность которой на один-два порядка выше.

Конформационные изменения в системе донор—акцептор

используют в наноразмерном сенсоре температуры. Здесь показателем служат геометрические параметры полимера, которые связывают квантовую точку и акцептор — тушитель флуоресценции. Температурные колебания влияют на конформацию полимерных цепей, при этом меняется расстояние между тушителем и флуорофором. Поскольку эффективность передачи энергии зависит от расстояния, по интенсивности флуоресценции определяют температуру.

Разновидностью конформационного изменения в системе служит разрыв или образование связи между донором и акцептором (рис.8). В нашем институте совместно со специалистами Реймского университета создан диагностический на аутоиммунное заболевание склеродерму (системный склероз) [12]. Здесь донором служат квантовые точки с длиной волны флуоресценции 590 нм, акцептором — органический краситель AlexaFluor 633. На поверхность микрочастицы, содержащей квантовые точки, иммобилизовали антиген к аутоантителу — маркеру склеродермы. В раствор ввели вто-

ричные антитела, сконъюгированные с красителем. В отсутствие мишени микрочастицы и конъюгаты с красителем не взаимодействуют, краситель не сближается с поверхностью микрочастицы, перенос энергии отсутствует, сигнала флуоресценции красителя нет. Если же в пробе появляется аутоантитело, образуется комплекс: микрочастица/аутоантитело/краситель. В результате переноса энергии краситель возбуждается, и в спектре возникает сигнал его флуоресценции при длине волны 633 нм (рис.9). Мы, записывая спектр каждой микрочастицы, использовали метод анализа на основе конфокальной микроспектроскопии. Важно, что такие аутоантитела могут служить диагностическими маркерами на самой ранней стадии развития заболевания.

В настоящее время предложено большое количество разных тестов, основанных на использовании плоских чипов различной сложности (планарных технологий). Но плоскость имеет стерические и диффузионные ограничения для регистрации связывания биологических объ-

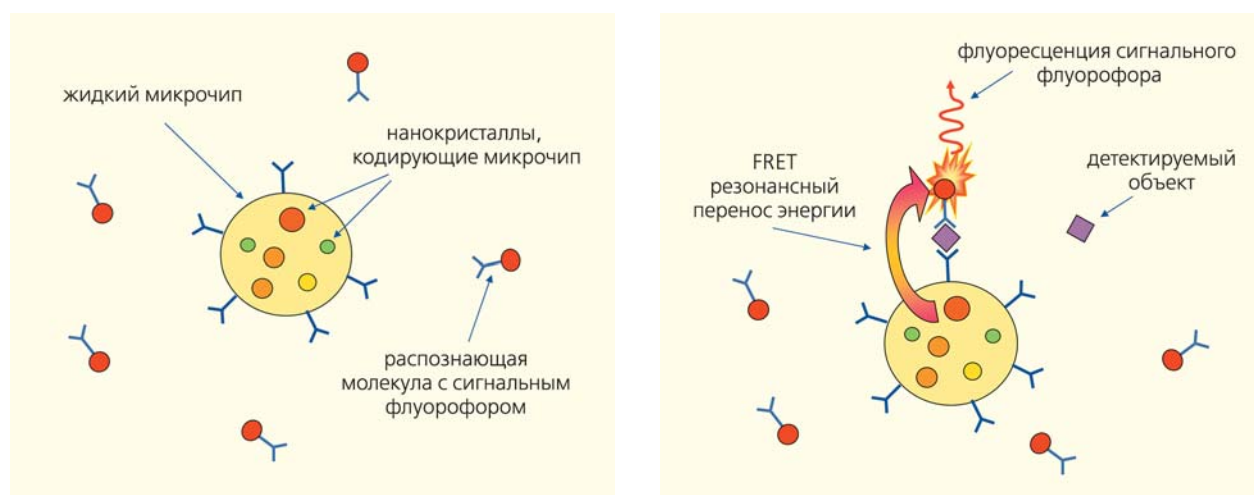


Рис.8. Использование резонансного переноса энергии (FRET) для определения объекта. Слева: до появления детектируемого объекта жидкие микрочипы и распознающие молекулы с сигнальным флуорофором не связаны между собой и находятся в растворе на значительном удалении друг от друга; переноса энергии и, следовательно, флуоресценции сигнального флуорофора нет. Справа: при появлении в растворе объекта распознающие молекулы связываются с жидким микрочипом, сигнальный флуорофор локализуется вблизи его поверхности, возникают условия эффективного переноса энергии; сигнальный флуорофор начинает флуоресцировать, что свидетельствует о присутствии в пробе детектируемого объекта.

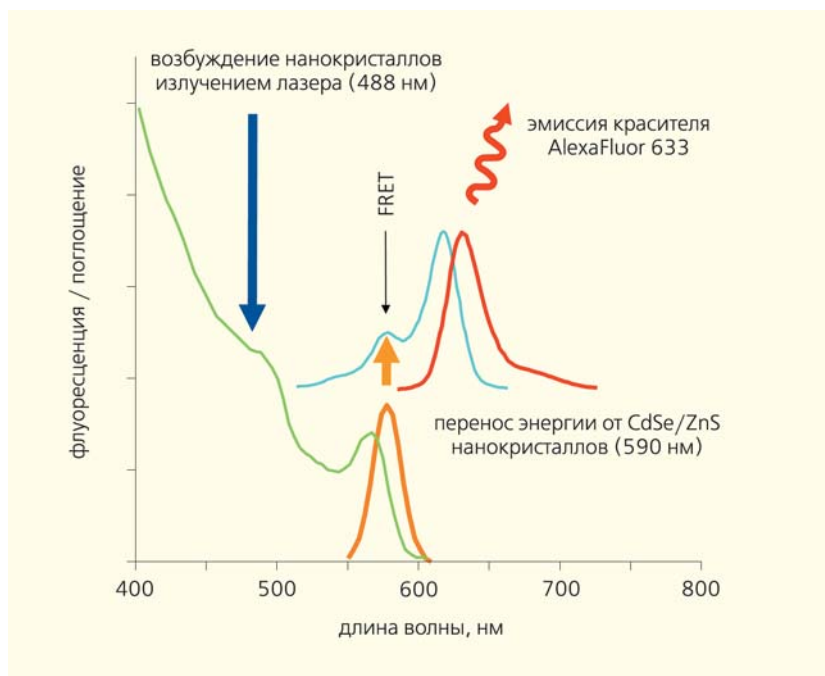


Рис.9. Возбуждение сигнального флуорофора (краситель AlexaFluor) за счет переноса энергии от нанокристалла в микрочипе. Само по себе лазерное излучение не возбуждает флуоресценцию красителя. Флуоресцентный сигнал появляется только за счет резонансного переноса энергии от нанокристалла.

ектов. С помощью жидких микрочипов можно создавать тест-системы, в которых взаимодействие антигенов с антителами происходит в гораздо более естественных условиях. Полученные результаты открывают путь к новым клиническим диагностическим тестам на основе полупроводниковых флуоресцентных нанокристаллов. А спектрально кодированные жидкие микрочипы позволят определять содержание сразу множества маркеров, что существенно повысит достоверность диагностики и поможет развитию методов ранней диагностики.

Конечно, на этом пути еще много нерешенных проблем, но растущее число коллективов, работающих в этом направлении, и множество публикаций по этой тематике позволяют надеяться, что квантовые точки в форме нанокристаллов станут основой техники и технологий следующего поколения. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-04-14523, 09-04-00650, 07-04-92164.

Литература

1. Олейников В.А., Суханова А.В., Набиев И.Р. // Российские нанотехнологии. 2007. №2(1–2). С.160–173.
2. Sukhanova A., Venteo L., Devy J. et al. // Laboratory Investigations. 2002. V.82. №9. P.1259–1261.
3. Murray C.B., Norris D.J., Bawendi M.G. // J. Am. Chem. Soc. 1993. V.115. P.8706–8715.
4. Hines M.A., Guyot-Sionnest P. // J. Phys. Chem. B. 1998. V.102. P.3655–3657.
5. Manna L., Scher E.C., Alivisatos P.A. // J. of Cluster Science. 2002. V.13. №4. P.521–532.
6. Nabiev I., Mitchell S., Davies A. et al. // Nano Letters. 2007. V.7. №11. P.3452–3461.
7. Williams Y., Sukhanova A., Nowostawska M. et al. // Small. 2009. V.5. №22. P.2581–2588.
8. Cai W., Shin D.W., Chen K. et al. // Nano Lett. 2006. V.6. №4. P.669–676.
9. Sukhanova A., Nabiev I. // Critical Reviews in Oncology/Hematology. 2008. V.68. №1. P.39–59.
10. Rousserie G., Sukhanova A., Even-Desrumeaux K. et al. // Critical Reviews in Oncology/Hematology. 2009. ???
11. Han M., Gao X., Su J.Z., Nie S. // Nat. Biotechnol. 2001. V.19. №7. P.631–635.
12. Sukhanova A., Susba A.S., Bek A. et al. // Nanoletters. 2007. V.7. №8. P.2322–2327.

Зеленые лягушки: жизнь без правил или особый способ эволюции?

Д.А.Шабанов, С.Н.Литвинчук

Современные представления об организмах, популяциях и видах созданы усилиями многих поколений биологов. Познавая мир, они попытались выстроить упорядоченную картину действительности, систематизировав всех обитателей планеты. Основная единица систематики — вид — это не просто название организма, но и качественный этап эволюции, совокупность особей, связанных процессом размножения и определенной эволюционной судьбой.

Большинство животных и растений размножаются половым способом, при котором новый организм получает два набора наследственной информации (генома) — от матери и отца. В геномах потомков наследственные задатки родителей сочетаются (рекомбинируют) по вероятностным законам, что порождает неисчерпаемое генетическое разнообразие.

Особи одного вида существуют в составе определенных популяций. Под влиянием изоляции две части когда-то единой популяции могут измениться настолько сильно, что скрещивание между их представителями окажется затруднено. Так возникают новые виды.

Все это верно, но не всегда. Как известно, нет правил без исключений. Поиск таких исклю-



Дмитрий Андреевич Шабанов, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии животных Харьковского национального университета им.В.Н.Каразина. Область интересов — популяционная экология, батрахология, эволюционная биология.



Спартак Николаевич Литвинчук, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института цитологии РАН. Область интересов — цитогенетика, зоология, эволюционная биология.

чений, точнее нарушений известных биологических законов, — один из способов понимания феномена жизни. Рассматривая их, можно перейти от уже понятых «правил игры» к более глубоким истинам.

Отступить и от упомянутых «правил игры», и от многих других могут, казалось бы, вполне изученные животные — например, лягушки. Конечно, в XX в. — в эпоху биохимии, генетики

и молекулярной биологии — классическими объектами исследований стали мыши, крысы, дрозофилы и круглый червь *Caenorabditis*. Но до этого долгое время подопытными животными биолога (и даже нигилиста Базарова) были именно лягушки, и чаще всего зеленые (*Rana* sp.). Это они сидят по берегам почти любого пресного водоема и шлепаются в воду при приближении человека.

© Шабанов Д.А., Литвинчук С.Н., 2010

Все не как у людей

В начале 60-х годов XX в. польский гидробиолог Лешек Бергер захотел разобраться в путанице, гулявшей по страницам зоологических определителей того времени. Было неясно, два или три вида (или подвида) лягушек населяют польские водоемы. Он поступил просто: рассадил лягушек по парам в небольшие пруды в собственном огороде и дождался их потомства. Один из «видов» лягушек оказался гибридом двух других. Что ж, бывает и так. Парадоксальнее было то, что при скрещивании гибридов с особями родительского вида получались или лягушки родительского вида, или такие же гибриды [1]. Отступление от канонов вызвало пристальный интерес исследователей. Загадку ре-



Рис.1. По этому экземпляру сам Карл Линней описал вид *Rana esculenta*! Можно считать, что это — лягушка №1, т.е. носитель видового имени, или голотип.
Фото С.Н.Литвинчука

шил немецкий биолог Хейнц Тюннер. Он сначала догадался, а потом с помощью генетических маркеров доказал, что у гибридных лягушек в половые клетки переходит лишь один из родительских геномов [2]. Аналогичное явление незадолго до того обнаружили у одного американского рода живородящих рыб и назвали *гибридогенезом*.

Открытия Бергера и Тюннера были лишь началом череды чудес, связанных с зелеными лягушками. Отступив от истории, кратко опишем особенности этой группы. Восточноевропейские зеленые лягушки представлены двумя родительскими видами и их гибридами: озерная лягушка (*Rana* ridibunda*) и прудовая лягушка (*R.* lessonae*), скрещиваясь, порождают съедобных лягушек (*R.* esculenta*) (рис.1).

Строго говоря, обычные гибриды видовых имен не получают, и съедобные лягушки сохранили свое имя не потому, что его дал в 1758 г. Карл Линней, а вследствие того, что они представляют отдельную линию эволюции, способную не только поддерживать себя во взаимодействии с родительскими видами, но даже и воспроизводиться самостоятельно (рис.2, 3).

Чтобы проще осознать необычность способа размножения гибридных лягушек, сравним образование половых клеток у них и у людей. Клетки нашего тела имеют по 46 хромосом, а лягушек — по 26. В обоих случаях половина этих хромосом получена от матери, а половина — от отца. У людей в половых клетках формируется фактически новый геном, состоящий из перемешанных «материнских» и «отцовских» фрагментов. Количество возможных сочетаний при этом невообразимо. Даже простая перетасовка хромосом (в какую половую клетку войдет «материнская», а в какую — «отцовская»)

* В последние годы многие систематики выделяют этих лягушек в отдельный род *Pelophylax* и называют соответственно — *Pridibundus*, *Plessonae* и *Pesculentus*.

дает 2^{23} комбинаций. На самом деле вариантов несоизмеримо больше, так как после обмена участками между хромосомами каждая из них (кроме половых, X и Y) перестает быть «материнской» или «отцовской», становясь новой, рекомбинантной. Среди сотен миллиардов сперматозоидов, которые мужчина производит за свою жизнь, нет двух одинаковых. Смысл такой «перетасовки» — поиск удачных сочетаний наследственных задатков. В этом отношении человек — вполне обычный представитель животных, а вот лягушки — не вполне.

У лягушек рекомбинация наследственной информации происходит при размножении особей одного вида, а вот у гибридов, возникающих при скрещивании лягушек разного вида, все иначе! Такие особи производят одинаковые (клональные**) половые клетки, несущие один из родительских геномов. А что случается со вторым? Он попросту уничтожается, элиминируется. Такое наследование называется *гемиклональным* (от греч. $\gamma\epsilon\mu\iota$ — полу- и $\kappa\lambda\omega\nu$ — отпрыск, ветвь).

А к чему приводит скрещивание гибридных лягушек с особями родительского вида? Все их потомки получают один и тот же клональный геном и разные рекомбинантные геномы (рис.3).

Теперь представим ситуацию, когда в одном водоеме присутствуют особи, относящиеся к разным видам и формам. Совместно размножаясь, они передают как рекомбинантные, так и клональные геномы. Такую совокупность особей можно назвать *гемиклональной популяционной системой* (ГПС) (рис.4, 5). В ГПС, в которой, допустим, размножаются озерные лягушки — RR и гибриды, которые клонально передают геном прудовой лягушки — (L)R, возможны три варианта скрещивания. При размножении озер-

** Клональность генома мы обозначаем заключением его символа в скобки: если клонально передается геном прудовой лягушки — (L), если озерной — (R).

ных лягушек все их потомство принадлежит к одному виду: $RR \times RR \rightarrow RR$. Скрещивание озерной лягушки и гибридов приведет к появлению гибридного потомства: $RR \times (L)R \rightarrow (L)R$. А что будет при скрещивании гибридов?

Как ни странно, во многих случаях скрещивание гибридов, передающих клональный геном одного вида, приводит к появлению нежизнеспособного потомства: $(L)R \times (L)R \rightarrow [(L)(L)] \rightarrow \dagger$. Этот феномен принято объяснять накоплением мутаций в клональном геноме. Раз он передается из поколения в поколение без обновления в ходе рекомбинаций, он не может избавляться от неизбежно возникающих в нем летальных мутаций. Запомним этот факт и вернемся к рассмотрению судьбы системы, состоящей из особей с генотипами RR и (L)R. Скрещивания «гибрид-родитель» будут приводить к увеличению доли гибридов, пока в такой гемиклональной популяционной системе не исчезнут представители родительского вида. ГПС, состоящая из гибридов, неспособных произвести жизнеспособное потомство, погибнет...

К счастью гибридных лягушек и их исследователей, так происходит не всегда. Во-первых, преимущество в воспроизводстве гибридов может уравновеситься их пониженной жизнеспособностью и плодовитостью, что приведет к стабилизации численности двух форм в популяции в каком-то определенном соотношении. Во-вторых, существуют разные формы гибридов, и некоторые из них, обитая совместно, способны породить вполне устойчивые популяционные системы.

Особенности жизни без правил

Нам посчастливилось участвовать в открытии в 2002 г., а также дальнейшем изучении необычного центра разнообразия зеленых лягушек — региона,



Рис.2. Схема изначального возникновения гибридов. L — геном прудовой лягушки, R — озерной. Особи с генотипом LR получаются от скрещивания двух родительских видов — LL и RR.

Здесь и далее фото А.В.Коршунова и Д.А.Шабанова

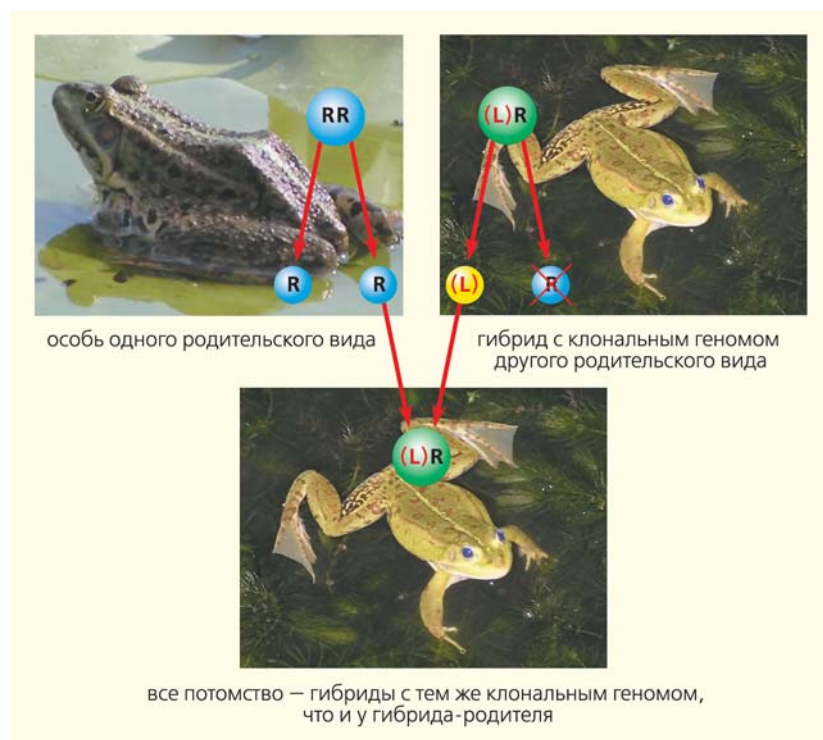


Рис.3. Схема воспроизводства гибридных лягушек при их скрещивании с особями родительского вида. Символ клонального генома (в данном случае — генома прудовой лягушки L) взят в скобки.



Рис.4. Размножение в составе гемиклональной популяционной системы: в общем нерестовом котле встретились особи родительского вида и разнообразные гибриды. Их легко различить по цвету резонаторов самцов: у съедобной лягушки (гибрида озерной и прудовой лягушек) они белые, у самцов озерной — серые.

Фото Д.А.Шабанова

где одновременно встречается много их форм. Этот центр разнообразия связан с р.Северский Донец [3–5].

Кроме озерных лягушек и диплоидных (с двумя геномами) гибридов в этом центре массово представлены триплоидные гибриды, т.е. особи с тремя геномами (таблица, рис.б)! Среди молодых особей зарегистрированы даже единичные тетраплоиды (по два генома прудовой и озерной лягушек), а также прудовые лягушки. Вероятно, тетраплоидные гибриды и прудовые лягушки гибнут в молодом возрасте. И это еще не все. Диплоидные гибриды в этих ГПС представлены тремя формами, отличающимися по составу их половых клеток. Эти формы можно обозначить (L)R, L(R) и (L)(R).

Хотя все перечисленные формы (см. табл.) были известны науке и ранее, системы такого сложного состава раньше никто не находил. Наиболее разнообразные ГПС найдены в Харьковской области Украины, но зона распространения

триплоидов простирается вниз по течению Северского Донца вплоть до Ростовской области России [6].

В самом деле, нормальная жизнеспособность триплоидных гибридов плохо согласуется с традиционными представлениями о генетике животных. Вдумайтесь: геномы и прудовой, и озерной лягушек — результат длительной эволюции диплоидных организмов с одинаковыми хромосомными наборами. Способность трех таких геномов, сошедшихся в одной особи

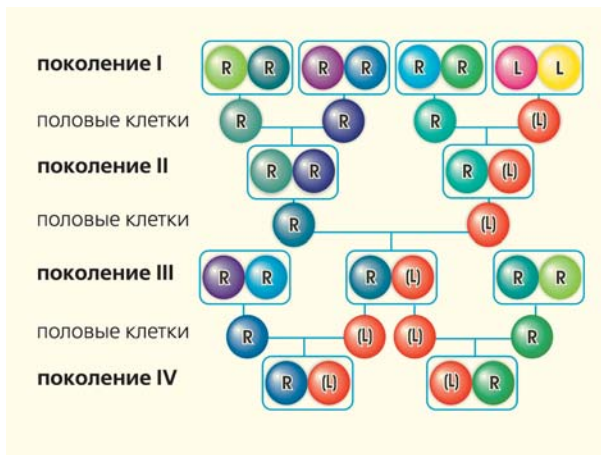


Рис.5. Схема истории нескольких поколений лягушек, основанная на анализе передачи геномов (цветные шарики). В случае наследования с рекомбинацией в половые клетки переходит геном, образующийся при смешении наследственной информации родителей (показано смешением цветов). Клональные геномы передаются как единое целое (цвет сохраняется).

Таблица

Состав гемиклональной популяционной системы в северско-донецком центре разнообразия зеленых лягушек (окрестности биостанции Харьковского университета в с.Гайдары и Национальный парк «Гомольшанские леса»)

Генотипы	RR		LR		LLR	LRR	LLRR	LL
Сеголетки	+++		+++		++	+++	+	+
Самки	+++		++		+	++	Вероятно, не доживают до половозрелости	
Самцы	+++		+++		+	++		
Половые клетки самцов	R	L	R	L и R одновременно*	L	R		
Половые клетки самок**	R	L	R	L и R одновременно	LR	LR		

Количество плюсов показывает обилие различных форм.

* В редких случаях отмечались и гаметы со смешанными (гибридными) геномами.

** Половые клетки самок указаны на основе предположений, так как их изучение — намного более сложная проблема, чем изучение половых клеток самцов; прочие результаты зафиксированы с помощью проточной ДНК-цитометрии и подтверждены комплексом других методов.

в соотношении 2:1, обеспечить ее нормальное развитие и размножение парадоксально! Кстати, данные, полученные в ходе определения возраста лягушек с помощью учета «годовых колец» — линий, образующихся во время зимовки в их трубчатых костях (рис.7), свидетельствуют, что триплоиды, которые дожили до половозрелости, живут не меньше, а растут даже немного быстрее, чем диплоидные гибриды.

Если вас это не удивляет, учтите, что триплоиды «построены» из более крупных клеток. Дело в том, что размер ядра клетки определяется количеством содержащегося в нем генетического материала, а соотношение размеров ядра и цитоплазмы клетки — приблизительно постоянная величина для каждой ткани. В полтора раза больше хромосом — в полтора раза больше объем ядра клетки — в полтора раза больше и масса самой клетки. А вот размеры и масса самих лягушек не увеличиваются! Триплоиды если и обгоняют диплоидов в росте, то ненамного и в весьма «зрелом» возрасте. Есть целый ряд процессов, для которых важны размеры клеток.

Поведение триплоидов, по крайней мере на первый взгляд, ничем особенно не отличается от поведения диплоидов. Однако из всего сказанного вытекает, что функционирование нервной системы триплоидов должно отличаться от нормы. Или клеток в мозгу триплоидов действительно меньше, или они функционируют иначе, чем диплоидные. Так что трем геномам, эволюционировавшим в разных видах, приходится управлять лягушачьим развитием с существенными отличиями по сравнению с нормой. И ничего, справляются!

Еще непривычнее для традиционных представлений существование гибридных особей, которые производят половые клетки, принадлежащие или одному, или другому родительскому виду. Возможно, это следст-

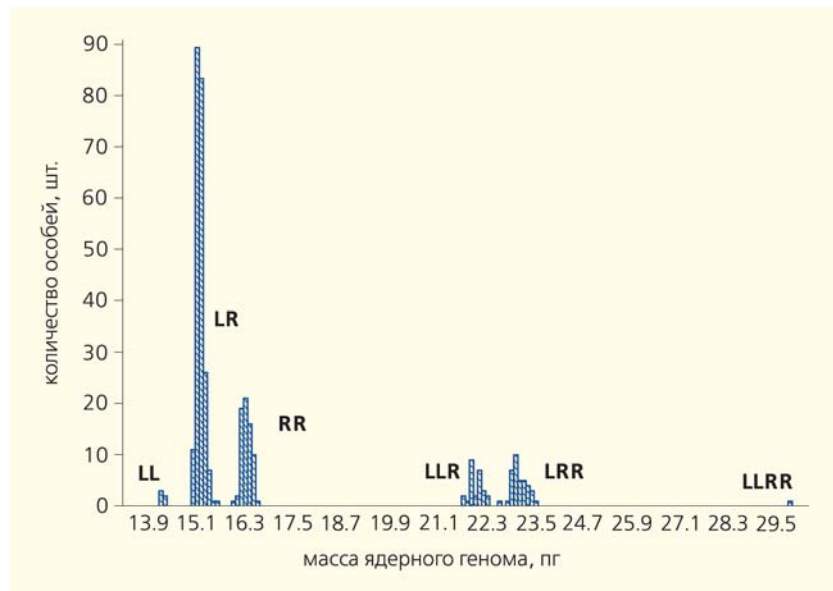


Рис.6. Результаты проточной ДНК-цитометрии, позволяющей определить массу ДНК буквально в каждой клетке. На основании очевидных отличий в массе геномов прудовой (LL) и озерной (RR) лягушек, а также четырех форм их гибридов (LR, LLR, LRR и LLRR) получены, в частности, данные, приведенные в таблице.

вие мозаичности их тканей, борьбы двух геномов, каждый из которых приспособился уничтожать соперника, или какого-то еще механизма. Какой бы ни оказалась причина существования таких особей, в любом случае это — интеллектуальный вызов для современной науки.

Вы думаете, что проблема зеленых лягушек — лишь част-

ность, касающаяся единственной группы животных? Нет. Дело в том, что в этом и подобных случаях проявляют себя принципы работы самых общих механизмов. Одна из таких проблем — проблема мейоза. И вот почему.

Живые организмы, существующие в меняющейся среде, вынуждены сочетать консерватив-



Рис.7. Срез фаланги лягушачьего пальца. Так определяют возраст и динамику роста лягушек.

Фото Е.Е.Усовой

ность своего развития с поиском новаций. Настоящим прорывом в эволюции стало оплодотворение — слияние двух клеток, соединяющих свой эволюционный опыт, записанный в их геномах. Однако новая клетка будет иметь вдвое больший набор наследственной информации! Значит, в жизненных циклах организмов, где есть оплодотворение, должен присутствовать не только митоз (клеточное деление, при котором комплекс наследственной информации передается клеткам-потомкам без изменений), но и мейоз — деление, сокращающее наследственную информацию вдвое (рис.8)! Подавляющее большинство понастоящему сложных организмов на нашей планете использует мейоз в своем жизненном цикле. Мейоз у фораминифер (морских «амеб», раковинки которых образовали залежи мела), яблони, белого гриба и человека имеет свои особенности, но в основных чертах сходен.

Гемиклональное наследование у гибридных зеленых лягушек — следствие нарушения мейоза. И разнообразие состава гамет, производимых разными гибридами, означает, что нарушен он у них по-разному! Геномы прудовой и озерной лягушек, встречаясь в одной особи, порождают такую неустойчивость мейоза, которая может приводить не к одной его аномалии, а к нескольким. Устойчивость таких ГПС, которые мы изучаем в северско-донецком центре разнообразия зеленых лягушек, связана именно с тем, что в них сосуществуют и воспроизводят себя особи с различными аномалиями мейоза, производящие разные гаметы.

Одна из интересных особенностей северско-донецкого центра разнообразия лягушек состоит в том, что он расположен за пределами ареала прудовой лягушки (см. табл.) [7]. Это означает, что геномы L в этом центре передаются от гибридов к гиб-

ридам в течение длительного времени. Согласно всем канонам популяционной генетики, такие «оторвавшиеся от корней» геномы должны были утратить генетическое разнообразие и попросту дегенерировать. Почему-то этого не происходит. Возможно, в северско-донецком центре важную роль по поддержанию жизнеспособности геномов прудовой лягушки выполняют триплоиды LLR, в чем-то играющие роль особой родительского вида [8]. Впрочем, в других регионах гибриды могут выходить за пределы ареала одного из родительских видов и не образовывать при этом триплоидов. Очередная загадка...

Еще одна необычная особенность гибридных лягушек в том, что их геномы выполняют различные функции. Малая жизнеспособность особей с двумя клональными геномами одного вида свидетельствует, что выживание особи в большей степени определяет рекомбинантный геном. Зато важная задача клонального генома — перейти в половые клетки самому и не пустить туда иной геном. У гибридов первого поколения, получившихся от скрещивания особей родительских видов, производство половых клеток сталкивается с большими проблемами. Многие из гибридов практически бесплодны. Передаются в следующие поколения лишь те клональные геномы, чьи обладатели смогли обеспечить формирование жизнеспособных половых клеток. В результате гибриды, клональные геномы которых прошли через целый ряд поколений, воспроизводятся намного надежнее. Это свидетельство особой формы эволюции геномов — эволюции, в которой происходит накопление приспособлений к клональной передаче.

Петербургские герпетологи Лев Яковлевич Боркин и Илья Сергеевич Даревский около 30 лет назад предположили, что триплоидные гибриды могут играть важную роль в возникновении новых гибридных ви-

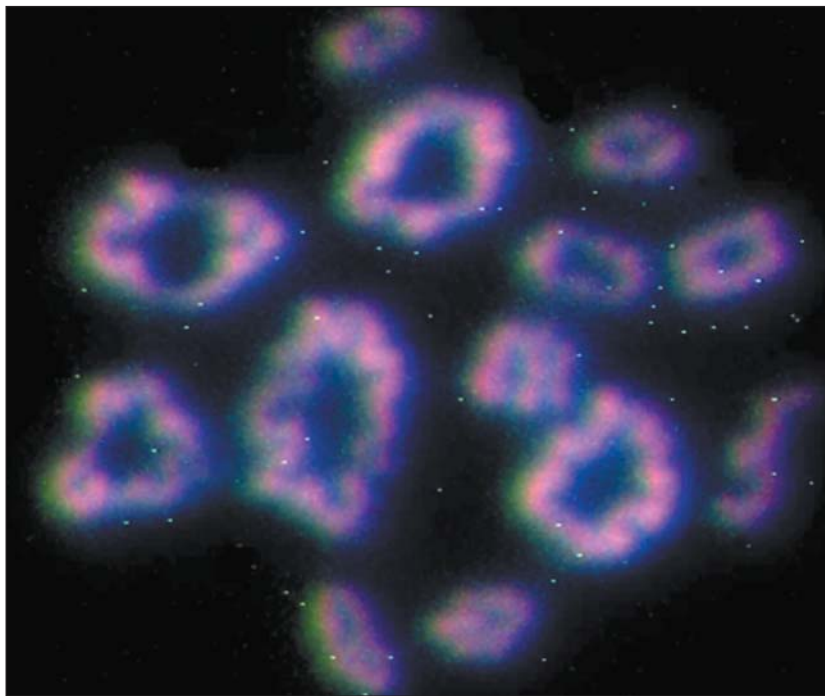


Рис.8. Так выглядят хромосомы, образовавшиеся во время мейоза в клетках семенников лягушек (флуоресцентное окрашивание). Обмен участками в хромосомах произошел, и они отходят друг от друга, но все еще соединены концами.

Фото Н.А.Агафоновой



Рис.9. Самцы триплоидных гибридов.

Фото С.Н.Литвинчука

дов. В общих чертах предложенная ими схема такова: при скрещивании диплоидных видов возникают клонально размножающиеся триплоидные гибриды. В результате размножения триплоидов и их скрещивания с другими формами возникают тетраплоиды, которые переходят к нормальному размножению с рекомбинацией геномов [9]. Может, в северско-донецком центре происходят именно такие процессы? Гемиклональные триплоиды налицо, единичные тетраплоиды — тоже. Но почему-то тетраплоиды не доживают до половозрелости... Эволюция клональных геномов должна привести к какому-то новому качеству? Или тетраплоидам для их развития нужны иные условия, чем лягушкам с меньшим количеством хромосомных наборов?

Еще один «пласт» эволюционных изменений зеленых лягушек связан с нарушением клональной передачи геномов у гибридов. Иногда в клональные геномы попадают фрагменты из рекомбинантных геномов другого вида и наоборот. Передаваясь от гибрида к гибриду в составе ГПС, такой частично рекомбинированный клональный геном может попасть к озерной лягушке. Так происходит перенос наследственной информации через видовые барьеры!

Такой перенос не ограничивается только ядерной ДНК, но затрагивает и митохондриальную (мтДНК). Как известно, она находится не в клеточном ядре, а в митохондриях и наследуется иначе — исключительно по материнской линии, с цитоплазмой яйцеклеток. Оказалось, что у большинства озерных лягушек в Западной Европе вообще нет собственной мтДНК [10]. Она у них полностью замещена на мтДНК прудовой лягушки, полученной от гибридов. И дело не только в том, что митохондрии прудовой лягушки оказались «лучше» митондрией озерной. Чтобы их получить, западноевропейские озерные лягушки должны были иметь довольно странную генеалогию. Представьте себе: у каждой озерной лягушки одна из «бабушек» по материнской линии должна была быть прудовой лягушкой — представителем другого вида. А ядерные гены у нее только своего вида. Значит, эта «бабушка» из прудовых лягушек скрестилась с самцом озерной. В результате должен был появиться гибрид с митохондриями и материнским геномом прудовой лягушки и отцовским геномом — озерной. Пол у лягушек наследуется примерно так же, как у людей: у самок два женских генома, а у самцов — один женский, второй — мужской.

Значит «дочери» той самой «бабушки» прудовой лягушки должны были передать потомству женский геном озерной лягушки и скреститься с самцом озерной лягушки. Самки, получившиеся от такого скрещивания, были предками по материнской линии всех озерных лягушек Западной Европы.

Что же в «сухом остатке»? Группа животных с нетипично работающим наследственным аппаратом, который эволюционирует необычным способом. Эта группа образует не популяции, а особые биосистемы, ГПС, развивающиеся по своим законам. В пределах этой группы наследственная информация преодолевает видовые барьеры, и, весьма возможно, на наших глазах рождается новый тетраплоидный вид.

Как и зачем все это изучать?

Узлы такой сложности невозможно распутать с помощью какого-то одного инструмента. Простую деталь можно изобразить на чертеже с одной точки зрения, сложная требует нескольких проекций и сечений. Способ эволюции зеленых лягушек можно понять, лишь объединив усилия специалистов разных отраслей. Вот неполный пе-

речень методов, которые использовали мы с коллегами* для описания процессов, происходящих с зелеными лягушками: полевые сборы и учеты, описание динамики роста по срезам кости, сравнение формы тела и особенностей развития, математическое моделирование размножения разных форм лягушек в ГПС, определение форм лягушек по размеру их генома, изучение белковых маркеров, сравнение последовательностей ядерных и мтДНК, определение характерных особенностей хромосом (иммунофлюоресцентное окрашивание, анализ «ламповых щеток») и многое другое. В ходе работы приходилось сравнивать лягушек разных форм, из различных типов местообитаний, ГПС и регионов. Естественно, для понимания того, что же происходит у лягу-

* Мы искренне благодарны Л.Я.Боркину, Г.А.Ладе, Ю.М.Розанову, М.В.Владимировой, Д.В.Дедуху, А.И.Зиненко, В.В.Клименко, А.В.Коршунову, М.А.Кравченко, Г.А.Мазепе, Е.Е.Усовой, С.Ю.Морозову-Леонову, Й.Плетнеру и многим другим коллегам за помощь и поддержку при проведении наших исследований.

шек, важны результаты изучения других групп животных, у которых зарегистрированы подобные феномены: рыб, зеленых жаб, хвостатых земноводных, ящериц.

Для решения столь сложной проблемы не хватит сил ни одного автора, ни одного научного коллектива. Проблемы, подобные той, что мы рассматриваем, как раз и способны объединять научное сообщество, связывая ученых из разных стран.

А зачем изучать зеленых лягушек? Главный для авторов этой статьи ответ — потому, что это очень интересно. Любопытство, недоверие, исследовательский азарт, которые вызывают описанные в этой статье особенности лягушек, принадлежат к числу самых естественных двигателей науки. Но дело не только в интересе. Загадывать, какие «бонусы» можно будет получить от исследования той или иной проблемы — дело благодарное, но некоторые попытки мы все же сделаем.

Гемиклональное наследование — способ ускорения эволюции; изучение механизмов ге-

миклональности откроет новые возможности для селекции.

При гемиклональном наследовании все потомство от скрещивания двух особей (каждая из которых передает клональный геном) может быть генетически идентично. Возможность получения таких животных будет полезна для биотехнологии и сельского хозяйства.

Овладение механизмами, которые обеспечивают сохранение во многих поколениях жизнеспособности гибридов из районов, где невозможно скрещивание родительских видов, поможет поддерживать жизнеспособность пород и чистых линий сельскохозяйственных организмов.

При гемиклональном наследовании какой-то механизм вызывает избирательную элиминацию определенного генома. Понимание этого механизма может быть интересно для генной медицины уже сейчас: он позволит при необходимости выключать нежелательные гены.

А чем глубже мы поймем способ эволюции лягушек, тем интереснее будет — вот увидите! ■

Работа выполнена при совместной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-04-01184) и Государственного фонда фундаментальных исследований Украины (проект 09-04-90475).

Литература

1. Berger L. // Acta Zoologica Cracoviensia. 1967. №12. P.123—160.
2. Tunner H.G. // Zeitschrift für Zoologische Systematik und Evolutionsforschung. 1974. №12. P.309—314.
3. Borkin L.J., Korshunov A.V., Lada G.A. et al. // Russian J. of Herpetol. 2004. V.11. №3. P.194—213.
4. Боркин Л.Я., Зиненко А.И., Коршунов А.В. и др. Массовая полиплоидия в гибридогенном комплексе *Rana esculenta* (Ranidae, Anura, Amphibia) на востоке Украины // Материалы 1-й конференции Украинского герпетологического общества. Киев, 2005. С.23—26.
5. Шабанов Д.А., Зиненко А.И., Коршунов А.В. и др. // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Сер. біол. 2006. Вип.3. №729. С.208—220.
6. Borkin L.J., Lada G.A., Litvinchuk S.N. et al. // Russian J. of Herpetol. 2006. V.13. №1. P.77—82.
7. Шабанов Д.А., Коршунов О.В., Кравченко М.О. // Біологія та валеологія. Вип.11. Харків, 2009. С.125—164.
8. Plötner J. Die Westpaläarktischen Wasserfrösche. Bielefeld, 2005.
9. Боркин Л.Я., Даревский И.С. // Журнал общей биологии. 1980. Т.41. №4. С.485—506.
10. Plötner J., Uzzell T., Beerli P. et al. // J. of Evol. Biol. 2008. V.21. №3. P.668—681.

Древние нарушения в почвах

Л.Н.Плеханова

Судьбы древних народов, населявших степную зону, их численность, хозяйственный уклад и социально-политическая деятельность в значительной степени определялись природной обстановкой. Древние этносы формировались и существовали в определенных ландшафтах, основу которых составляла почва. С другой стороны, природная среда испытывала все большее давление со стороны развивающегося хозяйства — началось заметное воздействие общества на природную среду. В последние годы происходит осознание важной роли деятельности человека как основного фактора, определяющего состав и структуру существующих ныне ландшафтов. Сегодня антропогенные изменения природной среды оказывают все большее влияние на развитие общества и его хозяйственно-социальные отношения через изменения плодородия и экологической емкости ландшафтов. Исторические традиции и социальную память народа рассматривают как консервативный компонент взаимодействия почвенного покрова и общества, а динамическим компонентом этой системы служит регулирующее действие почвы [1]. В изучении взаимодействия природной среды и древних обществ историко-культурный и природно-ландшафтный музей-заповедник «Аркаим» в степном Зауралье стал своеобразным модельным полигоном, а почвы заповедни-



Людмила Николаевна Плеханова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Научные интересы связаны с археологическим почвоведением. Награждена медалью РАН для молодых ученых. Автор свыше 90 научных публикаций.

ка — эталоном истории и современного состояния ландшафтов этой территории*.

Закономерности развития почв и наносов во времени — один из наиболее важных и сложных разделов почвоведения. Диагностика антропогенных воздействий неразрывно связана с взаимодействием почвенного покрова и общества, с этнологической функцией почв, когда продуктивность и вместимость ландшафта определяют тип общественного устройства на этой территории. Построение исторических ретроспектив сегодня необходимо для решения практических вопросов экосистемного природопользования. Следы человека есть везде, но не всегда их можно увидеть. Применяя методы археологического почвоведения, мы определили, как древние нарушения повлияли на современные степные ландшафты и впервые показали в цифрах, что наиболее сильное воздействие на формирование почв речных долин степного Зауралья оказало общество эпохи бронзы. Нагрузку на ландшафт мы оценивали по количеству антропогенно-измененных слоев на единицу площади.

Новое — всегда на стыке наук

Пускать хлебы по воде плавать — ждать, как обернется...

Начитать новое дело всегда страшно. И никогда не знаешь, чем точно все закончится, а главное, к какому сроку. Около 20 лет в степном заповеднике «Аркаим» ведутся работы на стыке естественных и гуманитарных наук. Здесь в изучении памятников археолог стремится заполучить в свою команду палеонтолога, антрополога, палеопочвовед, палеоботаника, а с недавнего времени — и археоаст-

* Подробнее см.: Зданович Г.Б., Иванов И.В., Плеханова Л.Н. // Музей-заповедник «Аркаим» в Стране городов // Природа. 2001. №9. С.50—58; Плеханова Л.Н. Почвы Зауралья в древности и теперь // Природа. 2003. №12. С.48—52.

ронома. Совместные работы с геологами позволили разработать уникальный способ дистанционного поиска археологических памятников — дешифрирование аэрофотоснимков [2, 3]; с почвоведом — фосфорный метод определения состава пищи в древних сосудах [4], с палеонтологами — принципиально новый подход к определению пищи по пригарам на стенках древних сосудов [5], успешно разрабатывается новейшее археоэкономическое направление [6]. Подобное сотрудничество не только удовлетворяет нужды археологов, но и взаимно обогащает специалистов. Различия в системах подготовки естественников и гуманитариев отражаются в образе их мышления, что часто оборачивается непониманием. Но иногда удается преодолеть сложности с различиями в понятийном аппарате. Так, один историк обобщил большой материал по палеоклимату [7], хотя климатом традиционно занимаются специалисты в области естественных наук.

Следы человека есть всегда, важно уметь их видеть

Для нас объектом повышенного внимания при изучении антропогенных изменений почв стала степная зона, в настоящем сильно преобразованная человеком, а в прошлом сыгравшая особую роль в развитии цивилизации благодаря кочевым и оседлым племенам. Задача исследования — дать характеристику древних эпох, реконструировать динамику палеоэкологических условий и характер взаимосвязей в системе «природа — древний человек».

Очевидно, что все исторические события протекают во времени и пространстве. И земля хранит в своих напластованиях остатки поселений и могильников, следы оросительных систем и горных выработок, свидетельства битв и природных катастроф. Чтобы работать с древними объектами, их надо в первую очередь обнаружить, поэтому столь важна археологическая картография.

Картирование памятников древности необходимо для понимания узловых моментов древней истории регионов и евразийских степей в целом. В связи с хозяйственной деятельностью идет интенсивное разрушение памятников, особенно сильным оно было во второй половине XX в. Тотальная распашка степной целины, строительство поселков с водохранилищами и дорогами стали причиной исчезновения многих древних объектов. Приватизация земли еще более усложнила охрану археологического наследия. Сегодня для территорий Челябинской обл. создаются детальные археологические карты отдельных районов. В основе таких карт лежит новая для степных районов методика археологического картирования — дешифрирование материалов аэрофотосъемки, или аэрометод.

Традиционные работы по обнаружению археологических памятников на местности, археологическая разведка, проводятся обычно небольшими отрядами по 5—7 опытных специалистов. Маршруты привязываются к каким-либо ориентирам на местности: например, по правому берегу небольшой степной речки, или вдоль гряды холмов, или по берегу озера. Именно в таких местах легче обнаружить следы древних поселений. Хорошо, когда на нужном участке идет грунтовая дорога. Как правило, древние предметы оказываются на поверхности таких дорог или в глубоких колеях. Там же, где задернение хорошее, археологи закладывают пробные шурфы (1×1 м) глубиной до естественных почвенных горизонтов, не тронутых древним человеком. Разведка — один из сложных и очень трудоемких этапов работы в археологических экспедициях. Многие километры пройти пешком, неся снаряжение на себе, — такое выдержит не каждый. Нетрудно догадаться, что даже при сплошных разведочных обследованиях часть памятников остается за пределами внимания специалистов.

Человек при взаимодействии с природой во все исторические эпохи нарушал ее естественное состояние. Следы его деятельности не могли не отразиться и на материалах аэрофотосъемки. Ведь всякое древнее строение меняет естественный ход природных процессов: строения рушатся и образуют развалы. Вот по ним археологи и ищут древние поселения при пешеходных наземных разведках. За прошедшие века и тысячелетия развалы нивелировались, превращались в едва заметные неровности рельефа, но с некоторыми характерными чертами, не присущими местам, где человека не было. Некоторые формы древнего антропогенного воздействия трудно зафиксировать по прошествии тысячелетий, например деградацию древних пастбищ. Однако хорошо сохранились места поселений и результаты культовой деятельности, доминирующей формой которой в Южном Зауралье на протяжении тысячелетий оставались курганы. С их поиска и начались дистанционные работы.

Для работы дешифровщика нужны хорошие снимки с воздуха. Плановые съемки различных районов проводятся с самолетов с периодичностью в несколько лет. При такой съемке очень важен ровный свет. Снимки делаются с определенной постоянной высоты над землей, обязательно с перекрытием, т.е. на двух соседних снимках один и тот же участок, поэтому в простейшем стереоскопе рельеф можно видеть объемно. Мне довелось снимать с мотодельтаплана, но это совсем другая съемка для иных целей. Так, на снимке поселения Каменный Брод небольшие жилищные впадины видны только утром или вечером, при косых солнечных лучах (рис.1).

Исходя из конкретных знаний об устройстве и масштабах известных памятников, об окружаю-



Рис.1. Поселение Каменный Брод. Видны квадраты археологического раскопа.

Здесь и далее фото автора

щих их природных условиях, обязательно учитывая современные геологические и почвенные процессы, происходящие в регионе, сотрудникам заповедника под руководством Г.Б.Здановича удалось выявить дешифровочные признаки археологических объектов. Их количество в десятки раз превысило результаты наземных разведок.

Путем проб и ошибок...

Самое важное для археологического дешифровщика — опыт. Методику разрабатывали около 20 лет: от идей поиска в степи до первой карты небольшой долины и потом — до первого атласа одного из районов области. Видны не памятники, а только нарушения хода естественных процессов, в нашем случае — естественного рельефа. Под таким найденным «памятником» на практике частенько оказывалось совсем не то, что искали: например, большая колония сурков обыкновенных (*Marmota bobak* Muller) с множеством так называемых нор-сурчин. Животные выгребают грунт нижних почвенных слоев на поверхность, создавая турбации или перемешивая почву. Длительно живущая на одном месте колония сурков формирует целый холм, который тоже виден на снимке и напоминает курган.

Поселения древнего человека бывают очень разными: от временной охотничьей или рыболовной стоянки будут следы одного типа, а на месте оседлого проживания большого коллектива людей — совсем другие. Все это еще нужно наложить и на традиции разных эпох — как жили, какой был тип хозяйства, как общество отправляло свои ритуалы... Соответственно, для каждого типа памятников различными будут и дешифровочные признаки.

Изменения почвенных свойств под антропогенным влиянием многие авторы соизмеряют с их преобразованием в природном тренде в течение столетий и даже нескольких тысячелетий. Прошлые периоды в истории развития почвенного покрова во многом определяют современную опасность проявления деградационных явлений. Сегодня антропогенное воздействие на почвы неизмеримо возросло и стало решающим фактором в эволюции почв, а почвообразование вступило в антропогенную фазу своего развития.

Исчезнувшие под влиянием древних людей естественные горизонты почв заменились устойчивыми педоседиментационными природно-антропогенными образованиями — культурными слоями. Они состоят из артефактов и заполнителя, который обычно формируется из материала исходной почвы с примесью остатков строительного

и бытового мусора. Утвердилось представление, что культурные слои выступают в роли хронологических реперов [8], т.е. вышележащие почвенные горизонты могут быть только моложе этой даты. Для интерпретации материалов поселений предложена концепция археологического вещества, в которой антропогенный остаток рассматривается как примесь искусственного компонента к природному веществу [9]. Обычно материал палеолита находится на уровне горизонтов В, мезолит и неолит — в горизонтах АВ, слои бронзы и раннего железа — в горизонтах А1 [10]. Формирование культурных слоев большой мощности по скорости накопления антропогенных «осадков» сравнимо с геологическими процессами осадконакопления при образовании наносов аллювиально-делювиального происхождения.

Перенаселенность древних речных долин

Работы в области археологического почвоведения позволяют по-новому взглянуть на формирование почв в речных долинах. В результате работ, проведенных большим коллективом в одной только аркаимской долине, найдено 11 поселений и 152 кургана (рис.2). Впечатляющих грунтовых сооружений нет, высота курганных насыпей редко превышает 30 см, поэтому многие из них наземная разведка не обнаружила (рис.3). На месте древних поселений в среднем сформировано около 15 см почвы, поэтому с поверхности посе-

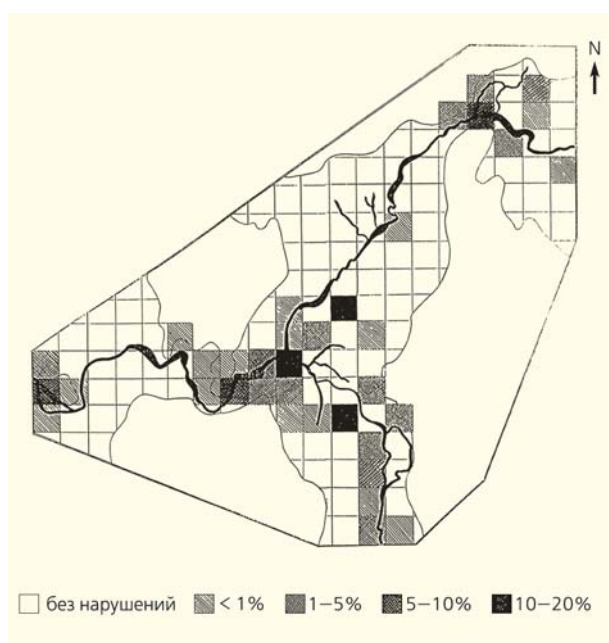


Рис.2. Степень нарушенности почв древними поселениями и погребальными памятниками, а также связанными с их строительством, которые сохранились до нашего времени. Сторона условного квадрата 500 м.

ления различить сложно. Мощности нарушенных слоев на этих поселениях достигают 1.5 м.

Почвообразование в пределах неукрепленных поселений эпохи бронзы практически не исследовалось. Контуры памятников определили по данным дешифровки аэрофотоматериалов и раскопок. Площадь распространения культурных слоев составила 15 га (0.5% территории долины). Более 70 тыс. м³ древних наносов средней мощностью 0.5 м сегодня участвуют в формировании почв долины [11].

Нарушенные в древности почвы поселений правомерно называть палеоурбаноземами. В «Классификации почв России» (1997) антропогенно измененные почвы рассматриваются как определенный этап их естественно-антропогенной эволюции. Следовательно, степень антропогенной трансформации почв может быть различной и классифицироваться на разных таксономических уровнях.

Суммарная площадь почв с древними нарушениями в этой части Аркаимской долины (3 тыс. га) составляет около 1%. Из них 74% — наследие деятельности общества эпохи бронзы. Сегодня антропогенно преобразованные почвы представлены палеоурбаноземами с различной степенью трансформации, с новыми горизонтами, встроенными в систему естественных почв. Мощность природно-антропогенных наносов поселений (литогенная основа и археологические остатки) колеблется от 20 до 150 см. Наносы состоят из культурного слоя (иногда подразделяющегося на зольный, прокаленный и углистый), верхние части которого преобразованы почвообразованием. Например, на поселении Каменный Брод развитие черноземно-луговой среднесуглинистой почвы на двучленной глинисто-супесчаной пачке было прервано поселением людей и формированием легкосуглинистого культурного слоя мощностью 30–35 см. Под культурным слоем сохранились горизонты А/В древней почвы с характерными языками-трещинами, отражающими аридный этап рубежа 3–2-го тысячелетий до н.э. Второй этап почвообразования отмечен в росте гумусированного горизонта А1 над культурным слоем. Древнее нарушение почвообразования в виде культурного слоя способствует плоскостной эрозии при современной антропогенной нагрузке. Вследствие этого А1 редуцирован, его мощность 6–12 см. Благодаря заповедному режиму в долине слой мощной дернины за 12 лет увеличился на 9 см.

Для культурных слоев характерны легкий гранулометрический состав, пониженная плотность и морфологическая неоднородность (рис.4). В них также увеличено содержание гумуса и фосфора, отмечаются высокая карбонатность, щелочность, слабая засоленность и низкие значения магнитной восприимчивости. В настоящее время на наносах, образованных на месте древних поселений, развиты черноземно-луговые почвы, легко



Рис.3. Поселение и курганная группа Калмыцкая Молельня совершенно не читаются на местности, как и большинство многочисленных поселений и курганных групп в степной зоне. Между тем, согласно дешифровке и раскопкам, здесь находится поселение и около 20 курганных захоронений.

выветриваемые под воздействием человека. На поселениях, используемых под пастбища, гумус образует не более 10—12 см природно-антропогенного наноса, на участках без нагрузки — до 30 см, что в два—шесть раз меньше фоновых почв.

По виду следов древнего воздействия мы выделили курганные насыпи (перемещенный грунт), зольные слои неукрепленных поселений, укрепленное городище, ритуальные оградки, грунтовые

сооружения и области распространения находок (стоянки каменного века). Для следов разного типа рассмотрели морфологическое строение почвенного профиля почв; химический состав встроженных в профиль горизонтов, созданных человеком в древности; состав растительных сообществ на таких участках и другие показатели, такие как стадия деградации растительного сообщества на участках с древними нарушениями и без таковых



Рис.4. Культурные слои поселения Каменный Брод мощностью до 0.5 м.

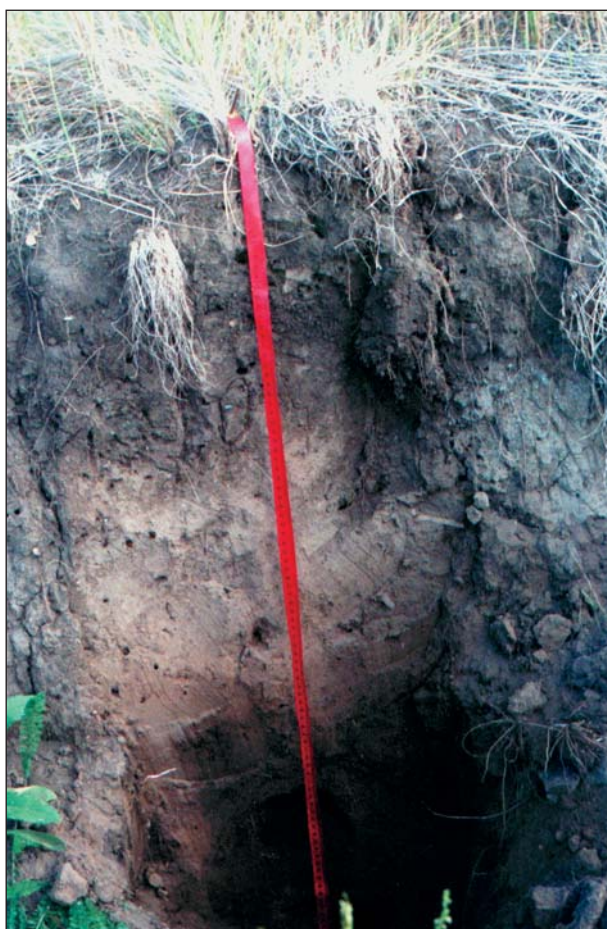


Рис.6. Почвенный профиль раскопа на поселении Утяганское I. Виден глубокий белесый горизонт, культурный слой, называемый зольником, мощностью до 90 см.

Рис.5. Поселение Утяганское I.

Снимок с мотодельтаплана. Видны изгибы реки Караганки и темно-зеленые пятна кустарниковой растительности, а также зеленые углубления — остатки от гигантских жилищ эпохи бронзы. Редкий случай, когда поселение хорошо видно как с поверхности земли, так и с воздуха. Правильные квадраты внизу — это небольшой раскоп, заросший за несколько лет бурьяном.

(рис.5, 6). При приложении небольшой нагрузки на ландшафт деградация почвенно-растительных сообществ в настоящее время идет значительно быстрее на тех участках, где в древности нарушения уже были, а сейчас в профиле остались следы древнего воздействия.

Антропогенная деградация ландшафтов

Человек, в сущности, не думает о том, что у него под ногами. Всегда мчится... и — самое большое — взглянет, как прекрасны облака у него над головой... и ни разу не поглядит себе под ноги и не похвалит: как прекрасна почва...

Карел Чапек

При изучении воздействия древних людей на почвы степного Зауралья (70% всех древних нарушений относится к эпохе бронзы) выявлены не только курганы и культурные слои поселений, но и деградация почв окрестностей поселений. Когда общество «давит» на ландшафт, в пределах речных долин увеличивается скорость накопления аллювиальных осадков. Такое увеличение скорости удалось выявить в период 4500—3000 лет назад при изучении погребенных почв долины

[12]. Начальные этапы деградации и возникновение современного комплекса почвенного покрова проявились 3000—2500 лет назад. Для этого времени характерны максимальная концентрация населения, комплексное ведение хозяйства, значительный антропогенный прессинг на экосистемы. Позднее, при усилении сухости климата (2500—2000 лет назад), произошла смена хозяйственно-культурного типа, развивалось кочевое скотоводство, сложившаяся комплексность закрепились и просуществовала до нашего времени. Причем в XX в. резкое повышение антропогенной нагрузки дало толчок быстрой деградации почвы. В формировании комплексности почвенного покрова наряду с экологическими факторами важную роль сыграла хозяйственная деятельность общества разных эпох.

Итак, почвы древних поселений — это особые образования, поскольку их нормальное развитие прерывалось антропогенным воздействием и ростом природно-антропогенных наносов. Масштабы деятельности древнего населения можно сравнить с геологическими процессами осадконакоп-

ления. Соотнося свидетельства древнего облесения современной степной зоны (особенности почв, споро-пыльцевых спектров) с наличием золистых слоев, оставленных древними племенами, правомерно предполагать, что открытые степные пространства сформировались благодаря не только динамике климата, но и длительному, не менее 3—4 тысячелетий, влиянию человека на ландшафты.

Изучение археологических объектов в единстве с ландшафтом придает памятникам новый смысл и новую значимость связи культурного и природного наследия. Разработка новых методов и подходов позволяет использовать археологические памятники в просветительской и воспитательной работе. Сегодня люди хорошо понимают, насколько важны для них память о предках и вещественные знаки этой памяти. В настоящее время тысячи туристов приезжают в удаленный от всех магистралей, затерянный в степи заповедник «Аркаим», чтобы встретиться с историческим прошлым, осознать связь времен и свою сопричастность истории. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-04-01546а.

Литература

1. Иванов И.В. // Природно-ресурсные ведомости. 2003. №43—44.
2. Смирнова О.В., Турубанова С.А., Бобровский М.В. и др. // Успехи современной биологии. 2001. №2. С.144—159.
3. Батанина И.М., Иванова Н.О. Археологическая карта заповедника Аркаим. История исследования археологических памятников // Аркаим: Исследования. Поиски. Открытия (По страницам древней истории Южного Урала). Челябинск, 1995. С.159—191.
4. Зданович Г.Б., Батанина И.М., Левит Н.В., Батанин С.А. Археологический атлас Челябинской области. Вып. 1. Кизильский район. Челябинск, 2003.
5. Демкин В.А., Демкина Т.С. // Этнографическое обозрение. 2000. №4. С.73—81.
6. Гайдученко Л.Л. Композитная пища и освоение пищевых ресурсов населением урало-казахстанских степей в эпоху неолита-бронзы // Археологический источник и моделирование древних технологий. Челябинск, 2000. С.150—170.
7. Зданович Д.Г., Кириллов А.К. Курганские памятники Южного Зауралья: археоастрономические аспекты исследования. Челябинск, 2002.
8. Бердникова Н.Е., Воробьева Г.А. Археологические остатки в почвах Прибайкалья // Проблемы эволюции почв. Четвертая всероссийская конференция. Тезисы докладов. Пущино; М., 2001. С.36—37.
9. Иванов И.В. Геолого-почвенные подходы к изучению природных процессов и археологических объектов; концепция археологического вещества // Проблемы эволюции почв. Материалы IV всероссийской конференции. Пущино, 2003. С.34—47.
10. Александровский А.Л. Зоотурбации и эволюция почв // Проблемы эволюции почв. Материалы IV всероссийской конференции. Пущино, 2003. С.77—83.
11. Плеханова Л.Н., Демкин В.А., Зданович Г.Б. Эволюция почв речных долин степного Зауралья во второй половине голоцена. М., 2007.
12. Плеханова Л.Н., Демкин В.А. // Почвоведение. №9. 2005. С.1102—1111.

Гномон — ключ северного лабиринта

Г.Н.Паранина, Д.А.Субетто

В устоявшемся представлении *лабиринт* — какая-либо сложная, запутанная структура. Основное значение этого слова — сооружение, в котором трудно найти выход, переносное — тупиковая ситуация. Само греческое слово «лабиринт» связывают с названием двустороннего топора (лабрис) — символа рогов священного быка, поклонение ему было частью минойской культуры. Лабиринт в Кносе (о.Крит), известный только по сообщениям, — уменьшенная копия египетского и до сих пор не найден. В некоторых древних источниках лабиринты называют иначе — «хорос», «круг», «солнце». На севере России за извилистый рисунок их называют вавилонами.

География лабиринтов

Северные лабиринты встречаются на территории Карелии (3), Кольского п-ова (6), Эстонии (10), Финляндии (141), в Швеции (около 300), Норвегии (более 20), Дании (31), Исландии и Великобритании (архипелаг Силли). Располагаются на островах, полуостровах и близ морских бухт. Распространенные типы: односпиральные, биспиральные, концентрические, радиальные. По форме это круги, овалы, реже квадраты. Характерная черта — однотипная структура заключенного в них рисунка.

© Паранина Г.Н., Субетто Д.А., 2010



Галина Николаевна Паранина, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и природопользования Российского государственного педагогического университета им.А.И.Герцена (Санкт-Петербург). Область научных интересов — организация географических систем, взаимодействие природы и общества, историческая география, семиотика географического пространства.



Дмитрий Александрович Субетто, доктор географических наук, заведующий той же кафедрой. Область интересов — палеогеография, четвертичная геология, седиментология, лимнология и палеолимнология. Организатор и участник многочисленных экспедиций.

В России наибольшее количество лабиринтов представлено на Большом Заяцком острове Соловецкого архипелага (около 50). Большинство из них — невысокие, закругленные наземные сооружения, выложенные из небольших по размерам валунов из щебня и гальки, включают более крупные камни и могут подниматься над землей до полуметра. Внутри этого полукруга находятся центральные сложения: груды камней, поставленные на ребро плоские валуны. Лабиринты имеют один вход, он же и выход: следуя по дорожке

между камнями, не пересекая барьера, человек через некоторое время выходит на то место, откуда начал движение. Рядом могут располагаться небольшие каменные пирамидки. Лабиринты расположены поодиночке, по двое, по трое; иногда образуют полукруг, внутри которого находятся каменные кучи различного размера и вида.

Одна из причин сосредоточения каменных сложений на Соловецких о-вах — валунный материал ледникового происхождения, сконцентрированный на разных высотных уров-

нях, соответствующих положению постепенно отступавшей прибойной полосы. На соседних островах, например скалистых Кузовах, таких условий нет, и лабиринты встречаются реже. Геоморфологические критерии датировок лабиринтов (по времени осушения террас) дают возраст не менее 3–4 тыс. лет до н.э.

В 20-х годах прошлого века лабиринты подробно описал и исследовал Н.Н.Виноградов, заключенный Соловецкого лагеря особого назначения. Он пришел к выводу, что лабиринты — не погребальные сооружения, а святилища, гигантские алтари, оставленные каким-то народом древности [1].

Близость лабиринтов к морю и рыболовецким тоневым участкам позволила ленинградскому археологу Н.Н.Гуриной [2], а за ней карельскому краеведу И.М.Мулло [3] предположить, что

каменные лабиринты — модели древнейших рыболовных ловушек. Когда такие же лабиринты стали находить в глубине Кольского п-ова, от этой гипотезы пришлось отказаться.

Археолог А.А.Куратов доказал, что некоторые каменные кучи около лабиринтов — остатки древних захоронений, связанных с «культурой арктического неолита» 5–1-го тысячелетий до н.э. Однако эти образования не всегда сопутствуют лабиринтам, а сами все же имеют сакральное значение [4].

Лабиринты подробно описаны, проведена их первичная каталогизация и классификация, рассмотрены вопросы датировки, принадлежности и функционального назначения, история изучения. Рисунок лабиринта рассматривался как схема ритуальных движений, танца, обряда посвящения. Высказывались предположения, что это



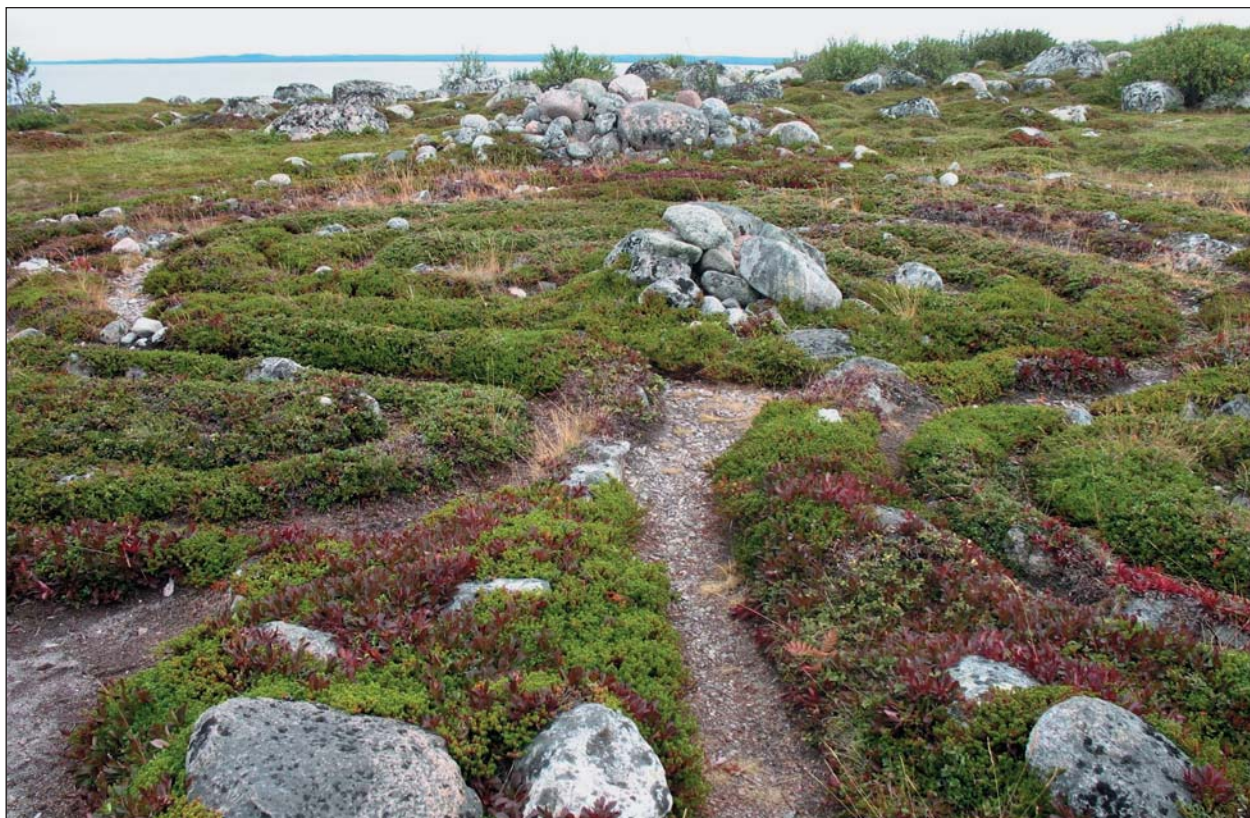
План лабиринта Тройеборг на острове Готланд близ Висбю в Швеции [13].

схемы орбит Солнца, звезд, планет. Обсуждались магические свойства и терапевтические возможности лабиринтов. В большинстве работ предложены разнообразные трактовки смысла знака [4–12]. Дискуссия о лабиринтах длится столетия, а глав-



Валуны вблизи Андреевского скита на Большом Заяцком острове (Соловецкий архипелаг).

Здесь и далее фото Д.А.Субетто



Вверху и внизу — лабиринты на том же острове.



Каменные кучи на Большом Заяцком острове.

ный вопрос остается открытым — зачем они нужны и что символизируют?

Сходятся исследователи в одном — лабиринты созданы носителями единой культуры в рамках морской цивилизации, локализованной на севере Европы, расцвет которой приходится на 3—2-е тысячелетия до н.э., а влияние — в силу владения мастерством навигации — охватило весь мир. Траектории маршрутов и территории их присутствия отмечены знаком лабиринта на прибрежных скалах и могильных плитах.

Мы предлагаем путь поиска через выявление региональных особенностей географического пространства и тех специфических условий природной среды северных регионов Европы, в которых человек осуществлял свою деятельность, которые осваивал и отражал в предметах материальной и духовной культуры [5].

Особый режим освещения

Большая часть лабиринтов находится в районах со специфическим режимом освещения: в пределах пояса белых ночей ($58-66.5^{\circ}$ с.ш.) и в субполярном поясе ($66.5-74.5^{\circ}$ с.ш.). Здесь солнце не заходит за горизонт на время от одних суток (под Северным полярным кругом) до 102 дней в году, создавая феномен полярного дня, отраженного в северных солярных культурах Ваала и Аполлона, воспетого в мифах и легендах Древней Греции и других народов, с которыми контактировало местное население.

Однако ориентироваться в условиях не заходящего за горизонт солнца — в пространстве и времени, лишенном четких временных границ и направлений, значительно сложнее, особенно в случае кораблекрушения, а для ориентации по звездам надо ждать полярной ночи.

Поэтому разумно предметом первой необходимости в данном регионе считать инструмент для ориентации по солнцу. Такой инструмент, не требующий для сооружения ничего, кроме грунта, камней и шеста, — гномон.

С помощью гномона можно определить направление географического меридиана, широту и долготу места, момент



Гномон в солнечных часах [13].

наступления полудня. Методическое пособие по землеведению для практической работы «Ориентирование по солнцу» [6] рекомендует студентам факультета начальных классов РГПУ им. А. И. Герцена использовать отцентрированный штатив с укрепленным параллельно горизонту планшетом. На нем закрепляется лист ватмана, расчерченный кругами разного диаметра с центром в одной точке, где вертикально устанавливается заостренный предмет, дающий узкую полосу тени. Фиксируя в течение дня точками положение ее вершины, можно получить графическое представление о самой короткой тени, при соединении с центром указывающей на север. Этой точке на графике соответствует полдень. Наблюдения позволяют получить пары симметрично расположенных по отношению к полуденной тени точек, соответствующих одинаковой высоте солнца в первой и второй половине дня. Их парное соединение дает параллельные линии, середины которых ложатся на полуденное направление, уточняя его. Чем выше предмет, дающий тень, тем точнее результат измерений.

Применение гномона, созданного из подручного материала на земной поверхности, обычно наклонной, вносит погрешность, которую можно устранить, прибегая к дублированию, что объясняет обнаружение групп лабиринтов-гномонов. Кроме того, изменения в положении географического полюса делали старые выкладки непригодными, очевидные погрешности заставляли создавать рядом новые контуры.

Лабиринты-дублиеры полезны и в другом отношении. Если каждый день фиксировать одно из положений солнца: в Заполярье — его кульминацию, в других областях — восход, то получится его годовой ход. В этом «календаре», по мнению Р. В. Паранина, можно валунами отметить сезоны, важные даты, свя-

занные с полезными или опасными погодными и фенологическими изменениями в природе [5]. Горка камней в центральной части лабиринта замечательно подходит для установки шеста, призванного давать тень. Шест требует регулярной замены, поскольку древесина под открытым небом долго не сохраняется. Камни за пределами лабиринта годятся для фиксации текущей и долговременной информации, с их помощью можно отмечать новый день на календаре-лабиринте, выделять временные границы планируемых этапов и ожидаемых явлений.

Если установка гномона и определение по нему положения в пространстве и времени суток — дело одного погожего дня и не требует от структуры лабиринта большой сложности, то создание календаря требует кропотливых наблюдений как минимум в течение года, отсюда большая или меньшая их сложность. Вопрос о количестве дней определяется положением по отношению к полярному кругу, ведь на этой широте проявляются как полярные дни, так и полярной ночи, когда солнце в течение суток (а чем ближе к полюсу — тем дольше) не появляется из-за горизонта (как считали древние — прячется в свой дом, расположенный на севере). Лабиринты с прорисовкой радиально расходящихся из центра линий-теней кажутся более простыми, первичными формами, просто солнечными часами и компасом, но, может быть, такая первичная разметка с выделением границ — одна из стадий их создания. Асимметричность овальных форм отражает, по видимому, сезонные и суточные контрасты длин и нарастает с удалением от полюса; за пределами зоны полярных дней круговые формы должны сменяться овалами со смещенным центром. Отсюда таким логичным и понятным становится древний астрономичес-

кий знак Солнца — круг с точкой в центре: именно так должен выглядеть гномон-лабиринт в доме Солнца!

Особенности наблюдений

На территории островов Соловецкого архипелага большое количество лабиринтов объясняется дисперсным типом расселения. Вероятно, море могло прокормить здесь достаточно много семей, проживавших отдельными стоянками, а часы и календарь у каждого поселения свои. Возможно, одной из причин насыщенности ландшафта рассредоточенным по территории населением стала древняя традиция культовых форм деятельности, которые требуют особой организованности.

Области распространения лабиринтов за пределами современного положения полярного круга в далеком прошлом могли быть заполярными. Известно, что наклон земной оси к эклиптике, определяющий режим освещения земной поверхности, в частности простирающие полярных широт, зависит от скорости осевого вращения планеты и изменяется с $24^{\circ}36'$ до $21^{\circ}58'$ за период примерно 40 тыс. лет. В условиях меньшей скорости суточного вращения полярный круг смещается в сторону экватора. Современное его положение $66^{\circ}33'$ соответствует наклону земной оси $23^{\circ}27'$. На сколько градусов увеличивается наклон оси, на столько уменьшается широта границы полярных областей. Кроме того, непостоянно положение полюса.

Практическое подтверждение предлагаемой концепции дает компасная съемка лабиринтов с определением ориентации по сторонам горизонта. На факт преимущественного расположения входа в лабиринт на южной стороне каменного сложения указал еще А. И. Елисеев [7]. Детальное описание соловецких лабиринтов, составлен-

ное Н.Н.Виноградовым, представляет результаты измерений, подтверждающие, что в подавляющем большинстве лабиринтов вход с юга, ширина по оси север—юг меньше ширины, измеряемой в направлении запад—восток. В описании центральной части каменных лабиринтов автор отмечает наличие углублений, валиков из более крупного материала и в некоторых случаях — строгую ориентацию плоскостей четырех центральных каменных блоков на северо-восток, северо-запад, юго-восток и юго-запад, так что стыки камней точно указывают основные стороны горизонта. Как это напоминает главный символ географии!

Перечисленные параметры соловецких лабиринтов однозначно соответствуют представлению о гномоне: вход с юга удобен, так как в поясе белых ночей в этот сектор тень гномона не попадает; ось меридионального направления меньше широтной, поскольку тени в северном секторе короче. Отклонения положения входа некоторых лабиринтов от южного могут объясняться не только погрешностями определения сторон, вызванными наклоном поверхности, но и смещением положения географического полюса, которое достоверно определено в настоящее время. Исследования планировки Стоунхенджа и ориентации древних календарей Дагестана позволили М.И.Исрапилову рассчитать смещения полюса за значительный период времени [8].

Экспериментальная проверка действия гномона на модели типичного лабиринта подсказывает некоторые ключевые моменты его создания. Внешний контур соответствует тени при восходах и заходах, которые всегда одинаковы по длине и перемещаются в течение года навстречу до образования круга, замкнутого в тех областях, где точки захода и восхода совпадают в крайнем северном положении. Полуденная тень не

меняет своего направления и изменяется только по длине, отражающей максимальную высоту солнца и длительность светлого времени суток. Это ее свойство использовалось для разбивки года на сезоны, границы которых совмещаются с достижением тенью определенной длины, зафиксированной линиями внутренних кругов. Кстати, в типичных лабиринтах насчитывается 12 рядов камней (между которыми 11 дорожек), что соответствует большинству известных древних календарей и современной разбивке года на месяцы. Впрочем, количество выделяемых в году периодов могло определяться не астрономическими, а практически значимыми ориентирами, тогда ширина дорожек должна различаться, как в лабиринте №3 Н.Н.Виноградова.

Разнообразие форм

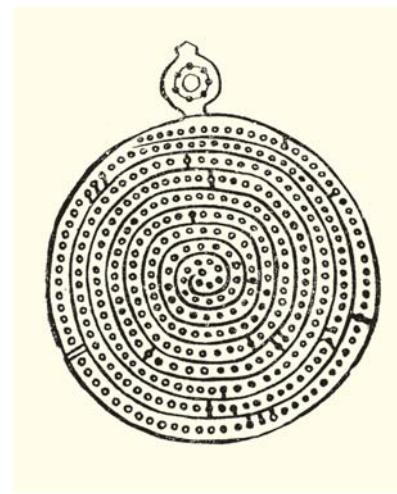
Разнообразие форм лабиринтов показывает, что единых правил его построения не было или они сложились постепенно, часто выдерживались лишь необходимые условия действия гномона, и форма каждого конкретного лабиринта отражала как географические факторы (режим освещения), так и экологические (разбивку на сезоны по этапам жизненных циклов промысловых популяций). При выделении периодов освещения заходящим и незаходящим Солнцем в рисунке лабиринта заметны две зоны по степени замкнутости окружностей: внешняя с очевидным разрывом и внутренняя, замкнутая, — так устроен лабиринт в Исландии.

Сложное устройство центральной группы камней заставляет предположить, что в устройстве был предусмотрен и наклон гномона в направлении земной оси, т.е. на Полярную звезду, повышающий точность определения часовых отрезков времени. Для наклонного креп-

ления деревянного шеста служат валики-бордюры и относительно более высокие камни, а для четкости различения направления тени — плоские столбовидные блоки, несущие следы обработки. Следует отметить, что греки усовершенствовали (наклонили) гномон около 530 г. до н.э.

Сравнение лабиринтов с известными древними календарями показывает, что спиральные формы использовались в календарях многих народов. Примером может служить пряжка из бивня мамонта с отверстием в центре из стоянки Мальта на Ангаре, датируемая поздним палеолитом. До начала XX в. якуты пользовались похожим на упомянутую пряжку «вечным» календарем. На витке спирали большого круга 367 отверстий. Маленький диск в его верхней части имеет семь отверстий — по числу дней в неделе. Дни отмечались перестановкой деревянного шпенька.

Интересно, что двучленное строение имеют и лабиринты, например запечатленный в центре наскального изображения в Ирландии или описанный Виноградовым лабиринт №3 Соловецкого архипелага, в устье которого располагается выкладка, похожая на лабиринт, но меньших размеров и иного соотношения длин меридиональной



«Вечный» календарь якутов [9].



Концентрические лабиринты, графство Мит в Ирландии [4].

и широтной осей. Вход в нее определяется не с юга, а с востока. Можно предположить, что двучленность конструкции указывает на сочетание наблюдений по солнцу и луне, что характерно для лунно-солнечных кален-

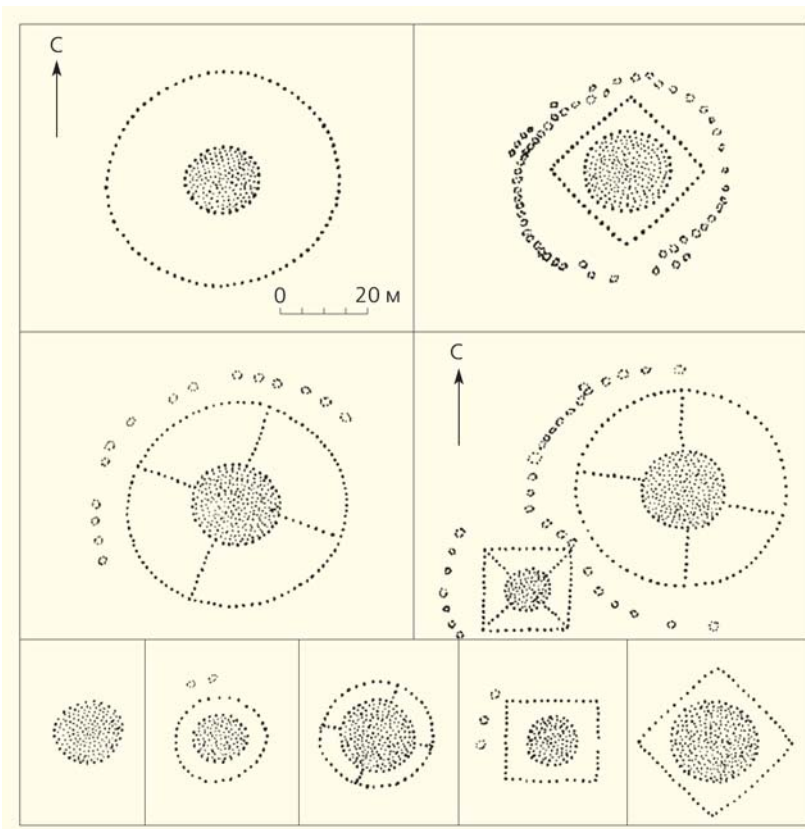
дарей и своим следствием часто имеет семидневную неделю, соответствующую четверти лунного цикла. Б.А.Фролов подчеркивает, что перечень стоянок и художественных изделий палеолита, на которых использован

«ритм 7», ведет через всю Европу к берегам Атлантики [9].

В качестве древних культовых объектов археологи рассматривают каменные керексуры (по-монгольски — херексуры) — сооружения IX—VII вв. до н.э., обнаруженные в Монголии, Саяно-Алтае и Забайкалье. Расположенные главным образом в котловинах и по долинам рек, они представляют собой каменные насыпи, окруженные квадратной или круглой каменной оградой с дополнительными кольцевыми выкладками. От центральной полусферической насыпи из камней в разные стороны часто расходятся каменные «лучи», упирающиеся в круглые внешние каменные ограды. Первым палеоастрономическими аспекты керексур выявил Л.С.Марсаолов (Отдел археологии Восточной Европы и Сибири Государственного Эрмитажа). Оказалось, что их структура фиксирует азимуты восходов и заходов солнца в дни солнцестояний и равноденствий, а также наиболее значимые положения высокой и низкой луны, т.е. временные аспекты. Некоторые «лучи» керексур имеют связь с основными доминантами и ориентирами в окружающем ландшафте [10].

Сравнение лабиринтов с другими упомянутыми астрономическими сооружениями позволяет сделать некоторые исторические и географические выводы. Во-первых, датировки, частота встречаемости и степень сложности гномонов могут свидетельствовать о центре происхождения и путях распространения этих знаний.

Второе обобщение: размеры гномонов зависят от продуктивности вмещающего ландшафта. В тундре и степи, где биомасса невелика, хорошо заметны, ничем не затенены невысокие гномоны типа лабиринтов и керексур, построенные для временного пользования в условиях кочевого перемещения усилиями небольшой группы людей (сошлемся на многочисленные экс-



Керексуры долины р.Юстыд, юго-восточный Алтай [7].

перименты по строительству каменных лабиринтов). В условиях лесных ландшафтов или плодородных оазисов, будь то умеренный пояс или тропики, гномоны уступают место грандиозным сооружениям, для строительства которых нужна организованная рабочая сила.

Поскольку важность передачи информации была очевидна во все времена, лабиринты устраивались в местах заметных и удобных для остановки и становились знаком для тех, кто придет позже. Кроме того, наскальные изображения — одни из первых карт и учебников — с педантичностью передают нам наипростейшие изображения гномона, а также включают их в плановые изображения, подобные петроглифам Тиуновского святилища, выполненным в оригинальной азимутальной проекции.

В понимании символической сущности знака лабиринта можно спорить со средневековой христианской трактовкой, склонной видеть в центре лабиринта всю гнетущую мощь нерешенной проблемы и связывающей выход из лабиринта с обновлением духа. Если следовать за солнцем, опираясь на концепцию лабиринта-гномона, то апогей просветления соответствует центру каменной конструкции. Неслучайно талантильные и дерзновенные язычники вместо деревянного шеста использовали вертикально поставленный камень, подчас заточенный как древний (фаллический) символ победы жизни над глемом. Чередование звуков ф/в/п в названии этого символа представляет широкое поле для сопоставлений. Так, огласовка с «п» дает нам необходимую деталь древнего гномона, огласовка с «в» дает нам имя бога света. По нашему мнению, характерная атрибутика в археологических находках бога Тарантиса (аналога скандинавского Тора и славянского Перуна), колесо и жезл громовержца — переносная модель

гномона (деревянная палка со временем уступила место металлической, притягивающей громовые разряды).

Теперь реальная основа средиземноморской легенды о лабиринте представляется так: образ быка создают симметрично удлиняющиеся рога-тени гномона, особенно если они выходят за рамки первоначально очерченного круга. Это объясняет совмещение с богом света Ваала и, кстати, символ «V». Круглый двурогий топор, давший название лабиринту, прорисовывается контуром лабиринта, покрытой всей совокупностью теней. Нить Ариадны, обеспечивающая возможность возвращения Тесея, в действительности — тесьма, веревка многоразового использования, которая служит основой строительства гномона-лабиринта, ускоряет процесс, облегчает первичную разметку, что существенно при внушительных диаметрах, а в отсутствие камней представляет собой единственный материал устройства лабиринта (например, на песке) и объясняет непрерывность его линий.

Путь к Ваалу до сих пор хорошо обозначен топонимически. Остров Валаам — не самое северное, но наиболее очевидное звено этого пути, а за ним вся Карелия, где этот корень уже утрачивает свое нарицательное значение, настолько употребляем. К святому острову с юга ведет Волхов, а с востока — Волга. Валдай дает этот путь благодаря водному мосту — р.Мсте. Употребление корня *га* в значении пути, структуры, обеспечивающей передвижение (дорога, гать и др.), не противоречит его основному солярному смыслу. Его применение в топонимах — повсеместно. Особого внимания заслуживает устаревшая транскрипция названий рек на северо-востоке Русской равнины и в Западной Сибири, сохранившаяся на довоенных картах: там, где теперь Каратаиха, раньше значилась Карата-Яга и т.д.

На критских монетах

Обратимся к древним критским монетам, двойная спираль которых тончайшим образом повторяет рисунок каменных лабиринтов и их изображения на скалах Севера. Похоже, что люди, печатавшие их, точно знали о назначении лабиринта и технологии его создания. Верхняя часть изображенного на монете лабиринта подписана «AP», т.е. «верх». Напомним, что этот слог, иногда произвольным образом произносимый нами, в некоторых языках так и переводится. Он же отражает верхнее положение в названиях облака и яблока (ап-ло-ко).

Заслуживает внимания и факт сходства рисунка лабиринта с названным плодом, его символическая связь с Солнцем. Под буквами справа и слева от лабиринта видим изображения копья и связанной узлом веревки — необходимый и достаточный материал его создания. Остается загадкой перевёрнутое положение знака на монетах, но это отдельный разговор.

Известно, что проникновение в северные страны и умение ориентироваться в ином, арктическом, пространстве сулили большую выгоду. Это заставляет большинство исследователей предполагать, что высокоразвитая древняя критская культура на свои монеты поставила чуж-



Двойная спираль на древних критских монетах [14].

дый ей знак. Однако историческая практика показывает, что при выборе знака отдается предпочтение тому, что ближе, роднее, тем предметам, которые отражают основу, суть обозначаемой территории или общности. Поэтому мы считаем, что найденная на Крите монета печаталась представителями северной цивилизации, и это убедительно показывает факт их присутствия и масштаб влияния в Средиземноморье. Отметим, что много примеров влияния северян на материальную и духовную составляющие культуры античного мира приводится в книге В.И.Паранина [11].

Следуя далее нашей концепции «гномон-лабиринт», приходим к выводу, что поиски лабиринта на Крите останутся безуспешными до тех пор, пока довлеет ассоциация лабиринта с запутанной цепочкой полуподземных помещений. Если искать лабиринт — храм Солн-

ца, в котором по определению центральная часть принадлежит гномону, то понятно, что это храм-обсерватория, подобный Стоунхенджу, в котором прорисовали пифии. По свидетельствам древних источников, молодых женщин на эту роль приглашали с далекого Севера, видимо, астрономическая культура ближних народов, ориентированная на ночные светила, не представляла иного выбора.

История показывает, что культовые центры совмещали научную и образовательную функции. Переустройство обсерватории, обеспечивающее точность предсказаний, требует средств, и при отсутствии финансовой поддержки научная составляющая гибнет, что и произошло при разрыве связи с источниками на Севере. Образовательная функция могла осуществляться самостоятельно после прекращения использования гномона, что, по-

видимому, закреплено в слове «школа», которое на всех языках имеет корень *кол*, а в латинском и греческом словарях, на которые принято ссылаться, не имеет достаточно широкой лексической основы. Таким образом, античные храмы Аполлона можно считать просветительскими центрами и форпостами культуры северной цивилизации.

* * *

Возвращаясь к северным лабиринтам, отметим, что они могут пролить свет на эволюцию природной обстановки голоцена не только полярных регионов, но и всей планеты. А местное название северных лабиринтов — вавилоны — несомненно имеет автохтонное происхождение. Именно на этой территории и в этой языковой среде оно отражает процесс действия лабиринта-гномона — вилонь, изгибы, производимые светом. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-05-00651-а.

Литература

1. *Виноградов Н.Н.* Новые лабиринты Соловецкого архипелага. Лабиринт Б.Заяцкого острова. Соловецкое общество краеведения: Материалы. Вып. XII. Соловки, 1927.
2. *Гурина Н.Н.* // Советская археология. 1948. Т. CX. С. 125—142.
3. *Мулло И.М.* К вопросу о каменных лабиринтах Беломорья // Новые памятники истории древней Карелии. М.; Л., 1966. С. 58—67.
4. *Куратов А.А.* Каменные лабиринты в сакральном пространстве Северной Европы. Архангельск, 2008.
5. *Паранина Г.Н., Паранин Р.В.* Лабиринт: инструмент ориентации и эволюция знака // Поморские чтения по семиотике культуры. Архангельск, 2009. С. 102—105.
6. *Блинова И.К., Погодина В.Л.* Методические указания к практическим занятиям по землеведению (для студентов заочного отделения начальных классов). Л., 1990.
7. *Елисеев А.И.* О так называемых вавилонах на севере России // Известия Императорского Русского географического общества Т. 19. СПб., 1883. С. 12—16.
8. *Исраилов М.И.* Стоунхендж и древние календари и часы Дагестана // Российский междисциплинарный семинар по темпорологии (www.chronos.msu.ru).
9. *Фролов Б.А.* «Магическая» семерка // Природа. 1972. № 5. С. 56—62.
10. *Марсадоллов Л.С.* Отчет об исследовании древних святилищ Алтая 2003—2005 гг. // Материалы Саяно-Алтайской археологической экспедиции Государственного Эрмитажа. Вып. 5. СПб., 2007.
11. *Паранин В.И.* История варваров. СПб., 1998.
12. *Керн Г.* Лабиринты мира / Пер. с англ. А.Рудаковой, Л.Шведовой. СПб., 2007. С. 7—33.
13. <http://upload.wikimedia.org/>
14. <http://physics.nad.ru/img/labirynt.jpg>

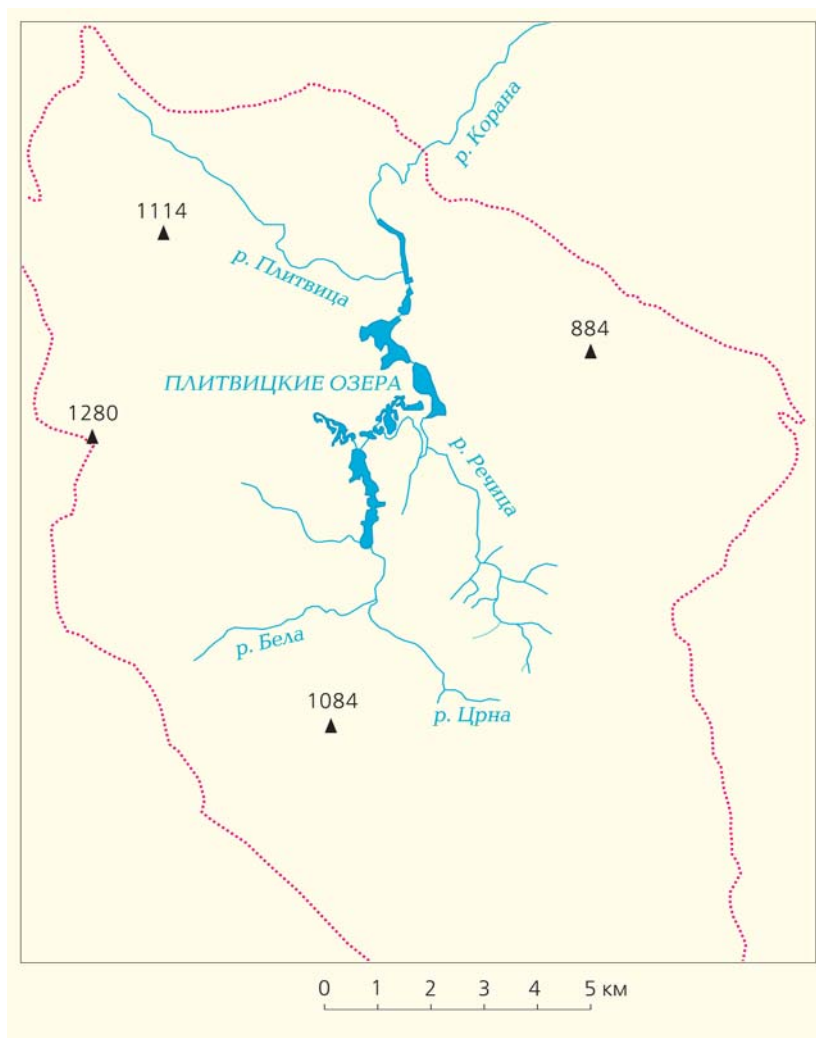
Плитвицкие карстовые озера

Е.В.Трофимова,
кандидат географических наук
Институт географии РАН
Москва

В самом центре Европы (44°52'с.ш., 15°36'в.д.), среди живописных елово-буковых лесов, на 500–600 м абс. выс., затерялись Плитвицкие озера — известнейший карстовый объект, внесенный в 1979 г. в Список природных объектов мирового наследия ЮНЕСКО. К сожалению, в России до сих пор нет ни одного карстового объекта с таким высоким статусом, поэтому, побывав на Плитвицких озерах в сентябре 2009 г. во время международной конференции «Устойчивость карстовой среды», поделюсь впечатлениями.

Озера находятся в 130 км к юго-западу от столицы Хорватии, Загреба, на территории старейшего (работает с апреля 1949 г.) природного национального парка страны с тем же, что и озера, названием. Площадь парка составляет 294,82 км², преимущественное распространение здесь получили горные ландшафты.

Плитвицкие озера — настоящее чудо карстового рельефа. В каньоне р.Корана (со средним годовым расходом 4 м³/с) на протяжении чуть более 8 км (при перепаде высот в 131 м) насчитывается около 100 живописных водопадов (высотой до 76 м). Бесконечными потоками переливаются они свои хрустально чистые воды в расположенные ниже на террасах 16 величественных озер, вода в которых, в зависимости от освещения, меняется от бирюзового до голубого цветов. Озера подпруживаются плотинами, скрывающими более 20 пещер.



Граница природного парка «Плитвицкие озера» [5].

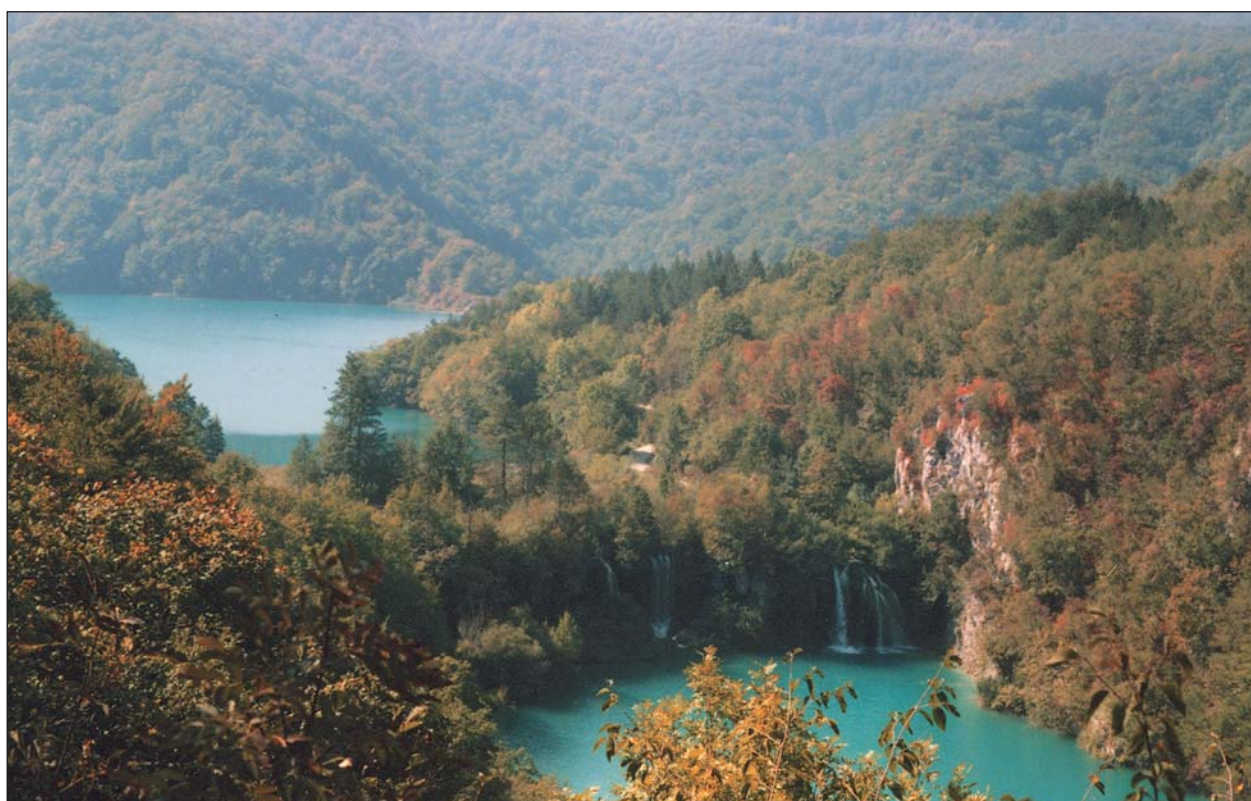
Плитвицкие озера подразделяются на две группы: верхние и нижние; занимаемая ими площадь составляет около 2 км². К первой группе относят 12 озер, в том числе самое большое — оз.Козяк, протяженностью более 3 км при площади 82 га. Верхние озера заканчиваются

Большим водопадом, низвергающимся с высоты 70 м в обширный каньон, в котором расположились четыре нижних озера.

Верхние озера приурочены к области развития триасовых доломитов со значительной трещиноватостью, а прилегающий к ним рельеф — типичный



Деревянные дорожки-мостики и пещера оз.Милановац.



Большой водопад.

флювиокарст; окружены они густым буково-словым лесом. Нижние озера сформировались в известняках юры и мела, представляя собой классические коссы [1] с низкорослой кустарничковой растительностью.

Террасы состоят из известкового туфа — травертина, легкой пористой породы. Эта порода активно формируется при значительном насыщении природных карстовых вод карбонатами (истоки рек Бела, Црна, Речица, Плитвица), а также при наличии водорослей *Suaephrysea*, осаждающих карбонат кальция из растворов и растительности, поддерживающей травертиновые конструкции — мох, тростник, камыш. Таким образом, травертиновые плотины — своеобразные биогермы: «...от греч. *bios* — жизнь, *héima* — скала, холм, известковый нарост на дне водоема, образованный прикрепленными организмами (кораллы, мшанки, губки, фораминиферы и др., а также синезеленые и багряные водоросли), отлагающими известь и сохраняющими после своей смерти прижизненное положение. Биогермы всегда локальны, форма их разнообразна, размеры от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров» [2. С.52].

Летом и осенью, когда вода в реке нагревается и содержа-

Таблица
Морфометрические характеристики Плитвицких озер [5]

Группа озер	Название озера	Высота, м	Площадь водного зеркала, га	Глубина, м
Верхние	Прошчанско	636	68	38
	Цигиновац	625	7.5	14
	Округляк	613	4	10.5
	Батонац	610	1.5	5.5
	Вир	608	1.7	8
	Малое Бурже	605	0.6	5
	Большое Бурже	598	12.5	24
	Галовац	584	12.5	24
	Милено	573	0.14	4.5
	Градинско	553	5.0	10
	Бургети	535	15.0	46
	Козяк	535	82	46
Нижние	Милановац	532	2.5	18
	Гавановац	515	0.7	10
	Калудоревац	505	2	10
	Новаковича Брод	502	0.4	4.5

ние в ней CO_2 уменьшается, кальцит осаждается наиболее интенсивно. Наиболее активен этот процесс под водопадами, в неспокойной среде: так, на плотине оз.Козяк его скорость в последние 3000 лет составляет 13 м/1000 лет, в то время как в самом озере эта цифра не превышает 0.8 мм/1000 лет [3]. Возраст травертиновых плотин датируется главным образом голоценом (датирование по ^{14}C и $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, но на притоке р.Бела обнаружены и более ранние постройки, возрастом ~120 тыс. лет и даже более [3].

Под водопадами «покрывало» из туфа образует пещеры. В настоящее время на территории природного парка их исследовано более 20. Самые известные: Шупляра, Голубняча, Црна Печина. Общая протяженность подземных ходов, как правило, не превышает 80—100 м, пещеры одноэтажные, так называемой горизонтальной морфологии.

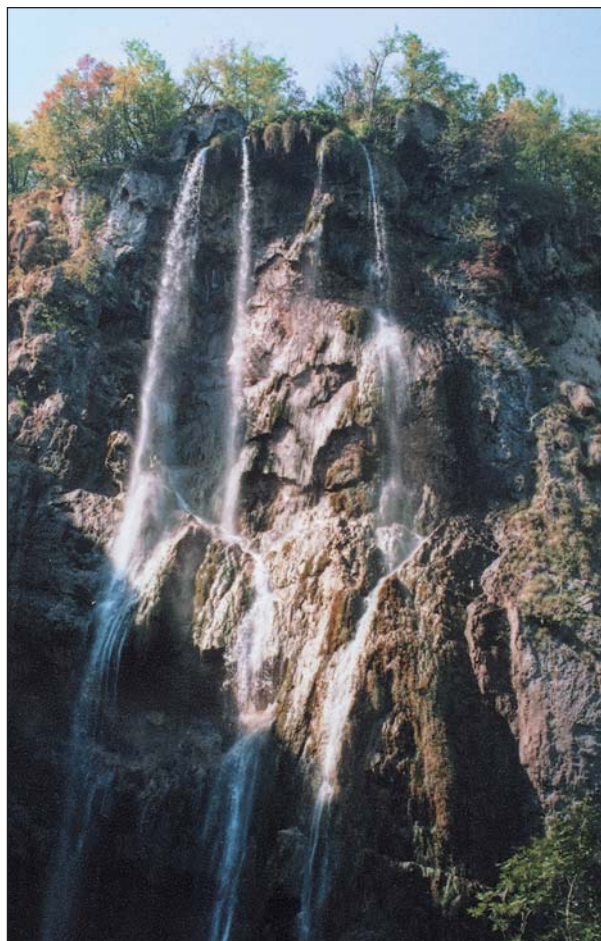
Богат и разнообразен животный и растительный мир природного парка «Плитвицкие озера». В его северо-западной части, в местечке Чоркова Увала, произрастает девственный



Продольный профиль Плитвицких озер [6].



Биогермы оз.Гавановац.



Водопад Саставци.

буково-еловый лес с уникальными древесными экземплярами. Здесь описаны 1267 видов растений, из которых 75 — эндемики, обнаружен 321 вид бабочки, 161 вид птиц (70 из которых гнездятся постоянно), 21 вид летучих мышей [4]. Но настоящий хозяин здешних мест — бурый медведь.

Впервые название «Плитвицкие озера» упоминается в 1777 г., а первый отель в районе этих озер был построен еще в 1893 г. Однако до 1958 г. природный

парк был недоступен для туристов. В тот год его директор, Й.Мовчан, начал обустройство пешеходных дорожек. К настоящему времени в пределах парка действуют маршруты электропоездов, прогулочных катеров и паромов на экологически чистой электрической тяге. Запрещено купаться и ловить рыбу в озерах, устраивать на их берегах пикники, разводить костры, приходить в парк с кошками или собаками. Такой строгий порядок продиктован необходимос-

тью сохранения природного равновесия, которое на протяжении уже не одного десятка лет заботливо оберегают местные экологи.

Природный национальный парк «Плитвицкие озера» открыт для посещений круглый год. По моим наблюдениям, в осенний период 2009 г. даже при пасмурной погоде сюда приезжают до 2 тыс. человек в день. Среди туристов особенно много немцев, хотя иногда можно услышать и русскую речь. ■

Литература

1. Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. М., 1991.
2. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М., 1980.
3. Nicod J. Les Karts Dinariques Paysages et Problèmes. Ljubljana, 2003.
4. www.np-plitvicka-jezera.hr
5. Badovinac Z. et al. Prirodne Znamenitosti Hrvatske. Zagreb, 1982.
6. Roglić J. // *Norois*. 1977. №95 bis. P.305—318.

Большая поганка

В.И.Булавинцев,
кандидат биологических наук
Москва

Поганка, да еще и большая, это ж надо так птицу называть неприглядно (правда, есть у нее и другое имя — чомга, по-латыни *Podiceps cristatus*). Мясо ее сильно рыбой пахнет, вот поэтому она и поганка, несъедобная, значит. А большой ее кличут тоже ненапрасно, поскольку есть у нее более мелкие родственники: серошекая, красношейная, черношейная и малая поганки. Но если отвлечься от вкусовых ка-

честв, должно признать, что птицу явно обидели, назвав так пренебрежительно. Поганка — существо симпатичное, если не сказать красивое. Но у предков наших есть оправдание. Названия птицам давали люди простые, в природе живущие. А жизнь у них, лет триста назад, была не мед и сахар, тяжело жили. На первом месте — быт да заботы о «хлебе насущном». Красота уж потом, на сытый желудок.

Утвердившееся ныне название чомга имеет татарские корни. По крайней мере, так считал

известный российский орнитолог М.А.Мензбир. Он же оставил одно из первых достоверных описаний повадок этой птицы: «Подобно другим поганкам, большая, или хохлатая, живет по озерам и разливам, берега которых поросли камышом или тростником... Гнездо этой птицы представляет большую плавающую кучу, сделанную из различного растительного материала и тины, с неглубоким лоточком на ее вершине... Число яиц полной кладки бывает три или четыре, гораздо реже пять... Вмест-

Заметки и наблюдения

© Булавинцев В.И., 2010

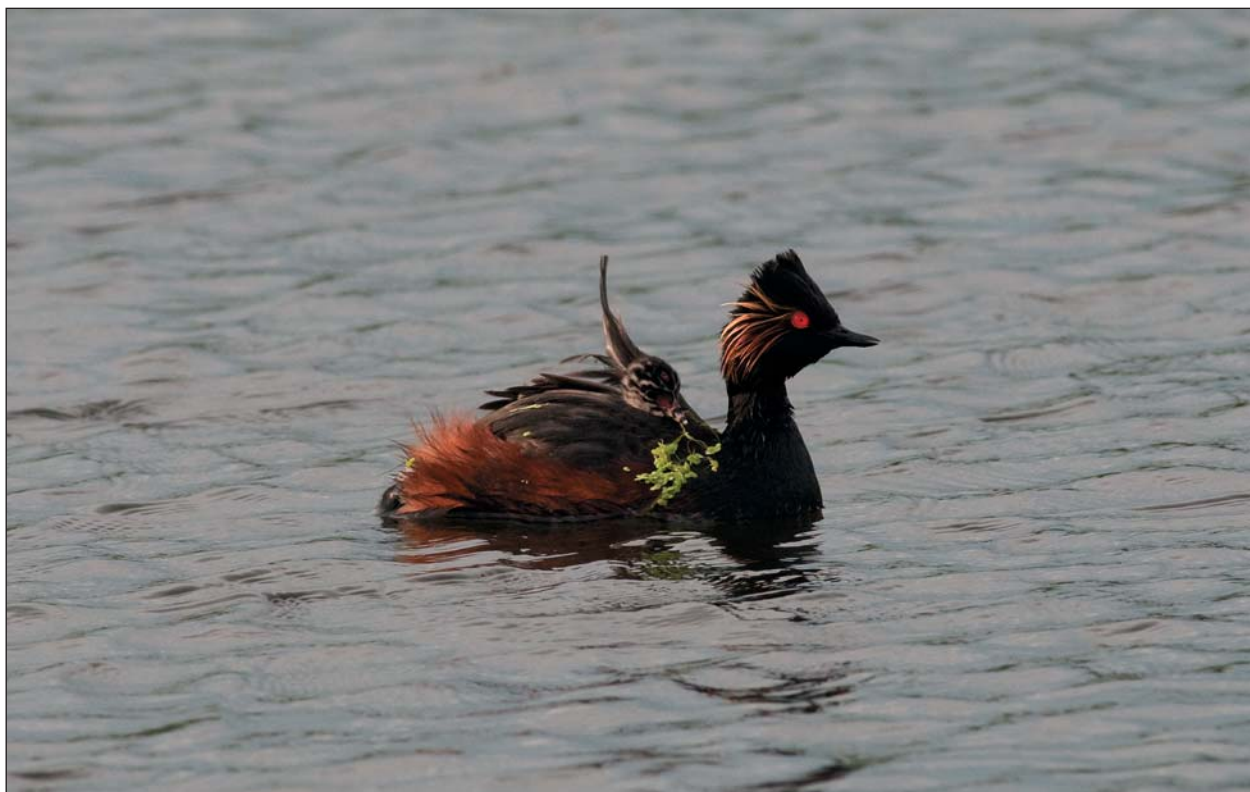


Чомга на гнезде.

Здесь и далее фото автора



Семейная пара.



Черношейная поганка с пуховым птенцом.



Пара разминается.

те со своими родичами хохлатая поганка обладает в совершенстве способностью ныряния. Она может оставаться под водой несколько минут и проплывать под нею очень большое пространство, иногда до ста шагов... Поганки держатся в местах своего гнездования до самого отлета... Во второй половине августа начинается пролет, который становится особенно сильным в сентябре...».

Что можно добавить к этой краткой справке по образу жизни чомги? Распространена она на земном шаре очень широко. Обычна в Африке, Европе, Азии, Австралии и Новой Зеландии. Птенцов высиживают оба родителя, около четырех недель, а потом, с месяц, заботятся о них, постоянно находясь поблизости. Птенцы, кстати, сразу после вылупления, будучи зрячими и шустрыми, чуть обсохнув в гнезде, перебираются из

него на спину родителя, где и пребывают довольно долго, до двух недель.

Подростки птенцы сначала полосаты, как страусята, но постепенно приобретают буровато-серую окраску сверху и белесую снизу. Полосатый рисунок при этом сохраняется только на голове и шее. Маленьких птенцов родители выкармливают беспозвоночными животными и мелкой рыбешкой. Подростки кормят только рыбой. Взрослые птицы продолжают опекать молодежь примерно до трехмесячного возраста, после чего начинается пора самостоятельной жизни. Но не все до нее доживают. К осени в выводке остается, как правило, только половина птенцов, а то и меньше, в среднем — пара на выводок. Для воспроизведения численности этого достаточно. Однако неблагоприятные условия зимовки, гибель от болезней, пре-

следование человеком могут свести результаты воспроизводства численности вида на нет.

В нашей стране много водоплавающих птиц гибнет в рыболовных сетях. У рыбододов и рыбаков к рыбающим птицам вообще давняя неприязнь. Хотя вред в действительности от той же чомги невелик, и в первую очередь потому, что птицы эти немногочисленны. На Западе, особенно в Европе, где водоплавающих птиц охраняют, количество чомги за последнее время заметно выросло. Остается надеяться, что и у нас, в России, культура экологических знаний не останется достоянием немногочисленных биологов и любителей птиц. А охрана живой природы и птиц, в частности, обретет должное государственное значение, и наши потомки смогут любоваться ими, в том числе и чомгами, не только на страницах электронных книг. ■

Крымский флиш

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геолого-разведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

Более 130 лет флиш был самой загадочной формацией, порождавшей фантастические гипотезы, допускавшие даже его континентальное происхождение. Вся таинственная неясность генезиса флиша рассеялась практически мгновенно, когда в 1950 г. Ф.Кюнел и К.Миглиорини опубликовали статью о турбидных, или мутьевых, течениях и объяснили ими градиционную слоистость его зернистых пород [1].

Флиш изучают уже более 180 лет. В 1927 г. швейцарский геолог Б.Штудер впервые использовал слово «flysh» для обозначения рыхлых, неустойчивых на склонах пород, способных оползать, осыпаться, как бы стекать [2]. К немецким понятиям «fliess» (ручей) и «fliessen» (течение, текучесть), от которых, вероятно, и происходит термин «флиш», в русском языке ближе всего слово «текун», предложенное Н.Б.Вассоевичем в 1948 г. [3]. На сегодняшний день термин «флиш» имеет значительно бо-

лее богатое по сравнению с первоначальным содержание.

Сейчас хорошо известно, что флиш — это результат седиментации, осуществляющейся спазматическими, часто катастрофическими мутьевыми течениями, а также крупными подводными оползаниями и обвалами. Такие процессы эффективны при наличии достаточных масс рыхлых осадочных отложений в неустойчивом состоянии и значительной глубине (сотни метров и даже несколько километров) близкорасположенной

© Комаров В.Н., 2010



Залесенные просторы второй гряды Крымских гор, сложенные флишем таврической серии. На горизонте в дымке — гора Чатыр-Даг.

Здесь и далее фото автора



Ритмичное чередование ожелезненных алевролитов и темно-серых аргиллитов.



Подводно-оползневые складки в породах таврической серии.

области их финального накопления. Перенос материала с шельфа на подножье происходит значительно интенсивнее в каньонах, прорезывающих континентальные склоны. Под действием сил гравитации рыхлые отложения могут перемещаться со скоростью более 100 км/ч, наподобие снежных лавин в горах.

Мутьевые течения проходят расстояние до нескольких тысяч километров, по пути они расслаиваются и замедляются. Осаждающийся материал создает серии сортированных осадков с постепенно уменьша-

ющимся размером зерен от подошвы к кровле турбидита, т.е. с градационной слоистостью — самым характерным признаком флиша. Основу потока составляет глинистая суспензия, изменяющаяся по плотности и нагруженности песчаным или щебнистым материалом (следует отметить, что петрографический состав неспецифичен для флиша [4] и может быть не только терригенным, но и силикатным, карбонатным, вулканогенным, биогенным и даже техногенным). Нижняя, наиболее насыщенная обломками часть потока перемещается

вблизи дна, иногда даже не касаясь его, о чем свидетельствует ровная, без признаков выпавания, граница с подстилающим тончайшим пелитовым осадком. Но чаще всего грязекаменный поток эродирует дно и в верхней части конуса выноса образует глубокую каньонобразную долину. Нередко она выходит «из берегов» и создает высокие прирусловые валы протяженностью в сотни километров. Основная же часть грубообломочного материала выливается в виде веера на выходе из каньона. Протяженность этих илесто-щебнистых пото-



Отпрепарированные мощные пласты песчаников часто образуют отдельные скалы.



Склоны горы Длинной (восточная часть Бахчисарайского р-на), сложенные песчаным флишем.



Отчетливое моноклинальное залегание пород песчаного флиша на склонах горы Шелудивой (восточная часть Бахчисарайского р-на).

ков может достигать сотен километров. Они формируют проксимальную (приближенную к устью каньона) фацию конуса выноса. Более тонкая и легкая песчано-илистая часть общего потока реализуется в виде циклита (песков, алевритов, глинистых илов) и создает как среднюю, самую обширную, фацию конуса, так и краевую — дистальную. Если в циклите преобладает зернистый элемент, флиш называется песчаным, в ином случае — глинистым. В самой верхней части циклита обычно встречается совершенно иной генетический тип отложений — фоновые, постоянно накапливающиеся, планктоногенные (карбонатные или кремнистые) осадки. Чаще всего флишевый циклит

имеет толщину 10—50 см, из которых 90—100% составляет турбидит, а 0—10% — фоновый элемент [4].

Флишевые комплексы распространены чрезвычайно широко. Один из эталонных районов их развития — Крымский п-ов. Отложения, ярко демонстрирующие все диагностические черты терригенного флиша, относятся здесь к таврической (по древнему названию полуострова) серии, имеющей среднетриасово-раннеюрский возраст. Они представлены толщей ритмично чередующихся бесчисленных слоев песчаников, алевролитов и аргиллитов, которые образуют основание Крымских гор и представляют собой самые древние осадочные породы, выступающие на поверхность. Флиш сла-

гает обширные участки южного побережья, а также значительную часть Горного Крыма между Главной и Предгорной грядами, формируя ядро крупного Качинского поднятия. Породы таврической серии повсеместно чрезвычайно сложно дислоцированы, образуют мелкие, часто причудливые, подводно-оползневые складки, затрудняющие установление последовательности напластования и не позволяющие даже приблизительно определить мощность серии.

Флиш по существу является единственным примером масштабной глубоководной седиментации. Это удивительная геологическая формация, поучительная историей изучения, строением, составом и генезисом. ■

Литература

1. Kuenen Ph. H., Migliorini C.Y. // J. Geol. 1950. V.57. №2. P.56—63.
2. Studer B. // Leonhard Zeitschrift für Mineralogie. 1827. Bd.1. S.39—84.
3. Вассоевич Н.Б. Флиш и методика его изучения. Л.; М., 1948.
4. Фролов В.Т. История изучения, строение, происхождение и геологическое значение флиша // Флиш и флишоидные комплексы в различных зонах земной коры (формации и геоминералогия). М., 2003. С.4—20.

Декан С.Д.Юдинцев

С.Н.Корсаков

Сразу по окончании печально знаменитой сессии ВАСХНИЛ был издан приказ министра высшего образования СССР С.В.Кафтанова №1208 от 23 августа 1948 г., в котором говорилось: «Освободить от работы проводивших активную борьбу против мичуринцев и мичуринского учения и не обеспечивших воспитания советской молодежи в духе передовой мичуринской биологии:

— в Московском университете — заведующего кафедрой дарвинизма академика И.И.Шмальгаузена, заведующего кафедрой динамики развития растений профессора М.М.Завадовского, заведующего кафедрой физиологии растений профессора Д.А.Сабинина, декана биологического факультета доцента С.Д.Юдинцева, доцентов биологического факультета С.И.Алиханяна, А.Л.Зеликмана, З.И.Бермана, Н.И.Шапира» [1. С.115].

Почему в этом списке декан факультета Юдинцев, который, казалось бы, по должности обязан был проводить партийную линию на поддержку «мичуринской биологии» и борьбу с «вейсманизмом-морганизмом»? Что он за человек и почему стал одним из тех, кто до последнего сопротивлялся победе лысенковщины? С деятельностью Юдинцева на посту декана биофака МГУ связаны важные страницы противостояния лженауке, почти не освещенные в литературе. Да и сам Юдинцев — фигура полузабытая.

Сергей Дмитриевич родился 20 марта (2 апреля) 1901 г. в де-

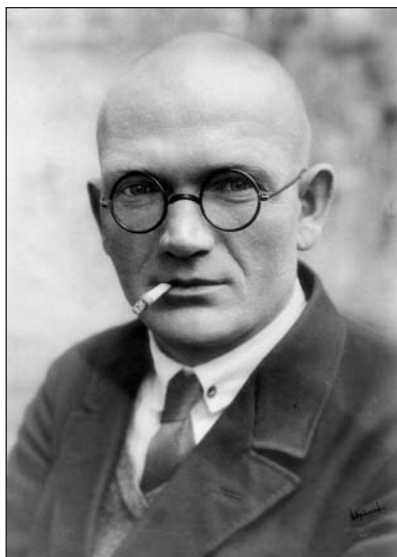


Сергей Николаевич Корсаков, кандидат философских наук, доцент Тверского государственного университета, старший научный сотрудник Института философии РАН. Область научных интересов — философская антропология, история философии.

ревне Николаевской Кундышской волости Яранского уезда Вятской губернии (ныне Вязовского сельсовета Тонкинского района Нижегородской области) в крестьянской семье [2]. Обучаясь в церковно-приходской школе в селе Русский Край, проявил незаурядные способности. Священник настоял, чтобы родители отдали мальчика в двухклассное училище в селе Кикнур, которое Сергей окончил в 1917 г. Дальше учебу пришлось прервать из-за материальных трудностей. Но мать Сергея приложила все усилия, чтоб он учился дальше. В сентябре 1918 г. пешком, в лаптях, с мешком сухарей за плечами, он отправился в г.Кукарку и поступил в учительскую семинарию, преобразованную позже в педагогический техникум. Учился на отлично [3]. По окончании техникума в течение года работал учителем в школе I ступени в селе Русский Край, а затем поступил на биологическое отделение Вятского педагогического института, по окончании которого преподавал биологию

в школе II ступени им.Короленко в Вятке и заведовал этой школой. Пройдя в октябре 1926 г. — ноябре 1927 г. армейскую службу в 1-м полку химзащиты в Москве, Юдинцев вернулся в Вятку, где преподавал биологию и заведовал учебной частью на рабфаке им.С.Халтурина [4].

По рекомендации кафедры биологии Вятского пединститута в сентябре 1931 г. Сергей Дмитриевич был зачислен в аспирантуру НИИ зоологии биофака МГУ. Занимался по кафедре динамики развития организмов под руководством М.М.Завадовского, некоторые работы были выполнены ими в соавторстве [5. С.233—247]. По окончании аспирантуры в сентябре 1934 г. был оставлен старшим научным сотрудником НИИ зоологии и одновременно работавшим заместителем декана биофака МГУ по учебной части. В феврале 1937 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «К проблеме специфичности действия гистолитозатов» [6. С.328—371] и в 1938 г. получил ученое звание доцен-



Сергей Дмитриевич Юдинцев
(1901—1960).

Все публикуемые фото
предоставлены Ю.С.Юдинцевым

та. Он занимался изучением гормональных факторов развития организма и опубликовал несколько работ: в «Журнале общей биологии» (1940. №3), в «Зоологическом журнале» (1948. №1), в «Докладах АН СССР» (1948. № 8).

В мае 1938 г. Сергей Дмитриевич был назначен деканом биологического факультета МГУ. Он

активизировал научную работу факультета, организовал ежегодные конференции по динамике развития организма. На страницах журнала «Вестник высшей школы» перед самым началом Великой Отечественной войны Юдинцев дал обзор основных исследований ведущих ученых факультета, рассказал о темах, имеющих народно-хозяйственное значение, о факультетских экспедициях по изучению тюленей в Белом море, кормовых беспозвоночных в Аральском море и др.

Декан Юдинцев стал и первым историком биофака МГУ. В написанной совместной с П.П.Бондарским статье он рассказал о становлении факультета, который был организован в составе МГУ только в 1930 г. (на основе отделения, существовавшего с 1923 г.), в 1931 г. был расформирован и восстановлен в 1933 г. Авторы охарактеризовали учебные планы и структуру факультета. Такой же обзор был посвящен и работе существовавших при факультете научно-исследовательских институтов: зоологии, антропологии, экспериментальной морфологии, ботаники [7. С.3—19].

Когда началась Великая Отечественная война, Юдинцев

вступил в народное ополчение, но вскоре его отозвали для работы в МГУ. Он руководил группой самозащиты местной ПВО, которая спасала университетские здания от вражеских бомб. Затем на плечи Сергея Дмитриевича легла тяжелая работа по эвакуации сотрудников университета и членов их семей. С августа 1942 г. по январь 1943 г. он исполнял обязанности ректора МГУ [8. С.196]. При этом продолжал возглавлять биологический факультет. В послевоенный период на факультете проходили научные конференции по ихтиологии, гидробиологии, геоботанике, продолжали проходить конференции по динамике развития.

В чем состояла уникальность Юдинцева как декана биофака МГУ? Он отличался качеством, в общем-то нечастым у руководителя. Прекрасно понимая, какие выдающиеся ученые работают на его факультете (И.И.Шмальгаузен, М.М.Заводовский, Д.А.Сабинин, А.Н.Белозерский, Г.И.Роскин, А.С.Серебровский, А.Н.Формозов и др.), он не испытывал дискомфорта по этому поводу, создавал условия для максимального раскрытия их таланта и защищал их. В результате на факультете сложилась «команда» ярких индивидуальностей, в свою очередь воспитавшая ученых, составивших новую славу отечественной науки. По словам учившегося на биофаке МГУ в эти годы С.Э.Шноля, Сергей Дмитриевич «удивительным образом с этой блестящей коллекцией был в полном резонансе и объединял ее; он с большим почтением относился к своим факультетским учителям, гордился ими и всеми силами им способствовал».

Был у Юдинцева и еще один талант — первейший для декана: его любили студенты, а это дано человеку, для которого факультет родной дом и который делает его таковым и для студентов. «С первого курса он знал всех студентов факультета по имени,



В кабинете декана биофака МГУ: Г.И.Роскин, Д.А.Сабинин, С.Д.Юдинцев.

и откуда родом, и как учиться, и куда стремиться. Всем говорил “ты”, но только потому, что считал своими» [9. С.367]. Мудрость Сергея Дмитриевича хорошо видна в истории с назначением Сталинской стипендии Р.Б.Хесину, в будущем члену-корреспонденту АН СССР. Вот как об этом вспоминает Б.С.Кулаев: «Оправившись от тяжелого ранения, Роман был демобилизован и окончил Московский университет. Примечательно, что уже в это время всем было ясно, насколько неординарен этот студент, хотя он вовсе не старался отлично учиться по всем предметам, по многим дисциплинам имел четверки и даже тройки. В те годы лучшим студентам предоставляли повышенную Сталинскую стипендию. Ее мог получить лишь отличник, да притом еще и общественник... Встретившись с ним, декан биофака Сергей Дмитриевич Юдинцев сообщил Роману, что представил его к Сталинской стипендии.

— Да что вы, Сергей Дмитриевич! При моем-то матрикule...

— Что ты мне говоришь? Да и зачетную книжку свою ты потерял, а потому знать ничего не можешь о ее содержании. Завтра зайди в деканат, выдадим тебе дубликат.

В результате этого не вполне корректного действия (в дубликате по всем предметам были выставлены отличные оценки) Роман стал сталинским стипендиатом, что дало возможность оставить его ассистентом кафедры генетики сразу после окончания университета. Все эти неординарные действия декана воспринимались студентами и преподавателями университета как должное, как адекватная оценка уникальной личности Романа» [10. С.68—96]. После сессии ВАСХНИЛ Хесин был изгнан с факультета вместе с другими противниками лысенковщины.

Юдинцев всегда был готов помочь студентам, особенно фронтовикам. Всех студентов знал в лицо и по имени. К нему



Сотрудники Лаборатории динамики развития Института зоологии МГУ. Стоят: С.Д.Юдинцев, Л.В.Крушинский, М.Мстиславский. Сидят: Б.А.Кудряшов, Т.А.Детлаф, М.М.Завадовский (заведующий лабораторией). 1937 г.

и в рабочий кабинет, и на квартиру в любое время шли за советом и помощью. Отсюда та любовь и уважение, та добрая память, которую он оставил в сердцах биофаковцев МГУ. Об этом свидетельствуют воспоминания бывших выпускников. Так, Е.С.Черненко пишет: «Не

могу не вспомнить добрым словом нашего декана Сергея Дмитриевича Юдинцева. Коренастый, с большой круглой головой, то хмурый от обилия дел, то осветившийся улыбкой, когда удалось решить очередной вопрос. Он понимал наши студенческие нужды и старался нам



С.Д.Юдинцев с сотрудниками кафедры энтомологии МГУ. Крайний справа — заведующий кафедрой С.Е.Смирнов.

помогать». Ю.Н.Куражковский вспоминает, что Юдинцев мог быть подчас резким, но «всеведущие студенты знали, что он очень внимателен к мнению профессоров и беззаветно защищает студенческие интересы. Например, когда была введена плата за обучение, он отдал все свои личные сбережения, чтобы не отчислить ни одного студента». Декан нередко заглядывал в аудитории, следя за порядком, заботился о том, чтобы обеспечить каждого студента карточками для питания в столовой — причем по рабочему, а не иждивенческому нормативу, талонами для приобретения обуви и одежды, не забывал и о тетрадях [11. С. 91, 184, 241].

Сохранились любопытные воспоминания В.А.Свешникова о том, как Сергей Дмитриевич проводил празднования Татьянина дня на биофаке: «Татьянин день на биофаке МГУ проходил очень шумно и весело, а порой даже бурно. После короткой торжественной речи декана факультета, профессора Сергея Дмитриевича Юдинцева, которого студенты между собой называли Кудрявым, потому что на его блестящей голове не было даже следов волос, следовали поздравительные тосты и обильные возлияния, в которых на равных принимали участие и профессора, и студенты. Темп застолья быстро нарастал и заканчивался хоровой студенческой песней «Крамбамбули» со словами «За то монахи в рай пошли, что пили все Крамбамбули...» Непременно пели также старинный гимн древних латинских университетов «Гаудеамус».

После завершения песенного репертуара начиналось самое главное ритуальное действие. Сергей Дмитриевич Юдинцев под хихиканье студентов торжественно обращался к директору Зоологического музея профессору Сергею Сергеевичу Турову за разрешением выдвинуть на середину вестибюля чучело гиппопотама, которое в наше время стояло в углу вестибюля, при-

мерно там, где теперь за столиком сидит дежурный вахтер. Сергей Сергеевич объяснял, что гиппопотам — музейный экземпляр и трогать чучело он никому не позволит. Тогда к просьбе декана присоединялись профессор, заведующие кафедрами, а за ними студенты. Вестибюль наполнялся шумом, который усиливался превосходной акустикой. Наконец директор Зоологического музея уступал настойчивым просьбам и давал разрешение, чтобы бегемота выдвинули на середину. Когда чучело устанавливалось посредине вестибюля, наступала гробовая тишина, которая предвещала недоброе для бегемота и для Сергея Сергеевича Турова. В этот момент декан факультета торжественно предоставлял право первого прыжка через чучело бегемота Сергею Сергеевичу, напоминая ему, что это право принадлежит директору музея по старой традиции. И Сергею Сергеевичу ничего не оставалось, как согласиться на этот рискованный шаг. Комичность положения состояла в том, что Сергей Сергеевич Туров был небольшого роста, толстоват и с короткими ногами и руками. Тогда как чучело бегемота было высоким и стояло на подставке. Отказываться было поздно и невозможно. Сергей Сергеевич разбежался и под громовой хохот студентов, преподавателей и профессоров, едва подпрыгнув, всегда оказывался у хвоста гиппопотама. Декан факультета Сергей Дмитриевич Юдинцев был ненамного выше С.С.Турова, и у хвоста бегемота его постигла та же участь. После этого по традиции наступала очередь Георгия Васильевича Никольского, которого студенты между собой называли Длинный за его рост и очень длинные ноги. Рост Г.В.Никольского равнялся 2 м и 20 см. Георгий Васильевич, полный достоинства, медленно подходил к бегемоту и под изумление студентов медленно, шаг за шагом, пропускал бегемота между своими ногами.

Из числа студентов лишь немногим директор музея разрешал попытаться прыгнуть через бегемота, опасаясь, что в азарте соревнования студенты оторвут бегемоту уши. После того как бегемота водворили на место, а профессора расходились по домам, наступало время царства студентов. К ночи и за полночь устраивали фиктивные свадьбы. Выбирали контрастные пары, например очень высокую невесту и к ней очень маленького жениха. Невесту под белой фатой усаживали рядом с женихом в торце длинного стола, начинался важный ритуал с поздравлениями, пожеланиями, неоднократно прерываемыми криками «горько!».

Сергей Дмитриевич хорошо понимал, что такое истинная наука и не допускал на факультете знахарства, рядящегося в одежды науки. В условиях нагнетания шабаша «мичуринской биологии» на факультете продолжали развивать традиции научной школы Н.К.Кольцова, затравленного лысенковцами в 1940 г.

В 1947 г. на факультете была организована III генетическая конференция. Вступительное слово произнес ученик Кольцова А.С.Серебровский, который заявил о громадных достижениях советских генетиков и напомнил о 25-летнем юбилее работ с дрозофилой в Советском Союзе, начатых С.С.Четвериковым, Д.Д.Ромашовым и др. в Институте экспериментальной биологии под руководством Н.К.Кольцова. Напомнил, как Г.Дж.Меллер на аэроплане привез в Институт чернобрюхую дрозофилу. Это говорилось за несколько месяцев до того, как советские газеты наполнились измышлениями об антимичуринцах и «мухолобах-человеконенавистниках», а генетики стали объектом карикатуристов «Крокодила». Основной доклад на конференции сделал С.И.Алиханян. Он четко обозначил позицию признания гена как мате-



С сыновьями Олегом и Юрием. Новый Афон. 7 августа 1947 г.

риальной частицы, которая служит ключом к пониманию наследственности, изменчивости, мутаций, роли микросреды в развитии генотипа, сказал об открывающихся перспективах изучения гена совместно биологами, химиками и физиками, показал несостоятельность утверждений «критиков» хромосомной теории. Пророческими были его слова: «Недалек тот день, когда генетика совместно с физикой, физиологией, биохимией и цитологией... произведет в науке такой переворот, который даст нам в руки орудие для сознательного руководства развитием живой природы» [12. С.18].

Выступали Н.П.Дубинин, А.Р.Жебрак, Н.И.Шапиро, И.А.Рапопорт, Б.Л.Астауров, А.А.Прокофьева-Бельговская, П.Ф.Рокицкий, В.П.Эфроимсон и другие выдающиеся генетики. В «Вестнике МГУ» было опубликовано информационное сообщение

о ходе конференции, а затем подробный обзор, составленный Шапиро и Хесиным [13, 14]. В рекомендациях конференции говорилось: «Перед нашими руководящими работниками должна стать первоочередная задача: всемерно развивать генетические учреждения, организовать генетические кафедры во всех университетах, сельскохозяйственных высших учебных заведениях и педагогических институтах». Это была позиция. Надо было иметь большое мужество, чтобы давать такие рекомендации советским руководителям от имени биофака МГУ в 1947 г.

Заметим, что Юдинцев вообще «ходил» около таких тем, которые в тот период становились смертельно опасными и интерес к которым легко мог стоить человеку свободы.

В августовском номере журнала «Вестник высшей школы» за 1947 г. он совместно с Л.Б.Ле-

винсоном публикует статью «Выдающееся научное достижение кафедры гистологии МГУ», где давалась очень высокая оценка опытам Г.И.Роскина и Н.Г.Клюевой по биотерапии злокачественных опухолей с помощью препарата, названного круцином. Статья появилась в печати, хотя накануне выхода этого номера журнала во все партийные комитеты было разослано закрытое письмо ЦК ВКП(б) от 16 июля 1947 г. «О деле профессоров Клюевой и Роскина». Авторы препарата КР обвинялись в том, что способствовали передаче в США через академика В.В.Парина рукописи их книги о биотерапии злокачественных опухолей и ампул противоракового препарата. Был запущен новый виток общественной истерии. Парин был арестован и осужден, а Клюева и Роскин преданы так называемому суду чести и подверглись преследованиям [15].



С Л.А.Зенкевичем (слева) и югославским коллегой (в центре). Белград. 1947 г.

В декабрьском номере «Вестника МГУ» вышла статья С.Д.Юдинцева и Л.А.Зенкевича об их командировке в Югославию в августе—октябре 1947 г. [16. С.145—160]. Это был прекрасный в литературном отношении очерк, где с увлечением рассказывалось о природе Югославии, о мужестве, стойкости ее народа, его непреклонности перед любым вмешательством извне, о совместной работе югославских и советских специалистов. «Мы не можем без глубокого волнения вспомнить встречу и беседу с маршалом Броз Тито, этим замечательным человеком и народным героем», — говорилось в статье. Авторы побывали в Загребе, Любляне, Дубровнике, Сараеве, Белграде, Скопье, Сплите, встречались с сотрудниками академий наук, научных учреждений, высших учебных заведений и научных музеев. Эти строки писались в период, когда быстро вызревал конфликт Советского Союза и Югославии, Сталина и Тито. Первые симптомы его относятся именно к августу 1947 г., когда Сталин впервые выразил недовольство действиями югославских руководите-

лей. Вскоре конфликт резко обострился, а 18 марта 1948 г. Сталин приказал отозвать из Югославии всех советских специалистов, после чего последовал разрыв отношений, а Тито был объявлен «фашистским палачом».

Главным столкновением в борьбе за подлинную науку стала для ученых биофака во главе с Юдинцевым дискуссия 1947—1948 гг. о внутривидовой борьбе. 18 октября 1947 г. в интервью «Литературной газете» Т.Д.Лысенко объявил широкой публике об очередном своем «открытии»: «Внутривидовой конкуренции в природе нет, и нечего ее в науке выдумывать». Аргументировал свое «открытие» Лысенко в традиционном для себя стиле: «Существует лишь конкуренция между видами — заяц ест волк, но заяц зайца не ест, он ест траву. Пшеница пшенице тоже не мешает жить». Убедительно? Отвергалось одно из важнейших положений биологии, и сотрудники биофака не смогли пройти мимо этого.

29 ноября 1947 г. Д.А.Сабинин, А.Н.Формозов, И.И.Шмальгаузен и С.Д.Юдинцев публикуют в «Литературной газете» «Наши возра-

жения академику Т.Д.Лысенко». «Мы с недоумением встретили эти неверные и необоснованные положения Т.Д.Лысенко, противоречащие основам дарвинизма», — заявили биологи из МГУ. — Он жестоко ошибается, считая, что признание внутривидовой борьбы относится только к отдельным ученым. Тысячи квалифицированных ученых, работающих в академиях, университетах, сельскохозяйственных вузах, на опытных станциях, никогда не отказывались и не откажутся от этого важнейшего раздела великого учения Дарвина. Тем более неправ академик Лысенко, считая это буржуазным пережитком». Им пришлось разъяснять «народному академику», что поедание зайцев волками не межвидовая конкуренция, а отношения «хищник—жертва» и что в литературе давно описана конкуренция именно между зайцами из-за пищи, удобных убежищ и т.д. Авторы статьи показали, что утверждения Лысенко, будто теория внутривидовой конкуренции связана с теорией Мальгуса, представляют собой не что иное как перенос биологических закономерностей в область социальной жизни. «Внутривидовая борьба — краеугольный камень дарвинизма, — говорилось в статье. — Без нее становится фикцией естественный отбор — основной фактор эволюции животных и растений». Завершалась статья выводом, казалось бы, убийственным для Лысенко, гордившегося тем, что его «учение», в отличие от «буржуазной лженауки», полезно для народного хозяйства: «Мы считаем, что концепция Т.Д.Лысенко отвлекает научную мысль на неправильный путь, лишая тем нашу практику богатейших возможностей».

Отделом науки в «Литературной газете» заведовал тогда М.Б.Митин, которому лучше чем кому другому было известно, насколько прочной поддержкой пользуется Лысенко у Сталина. Напечатать статью ученых МГУ без того, чтобы дезавуировать

ее, он не мог. Он ознакомил с текстом сотрудников Т.Д.Лысенко: А.Авакяна, Н.Беленького, И.Глушченко, Ф.Дворянкина, Д.Долгушина. Те написали ответ, опубликованный в «Литературке» на той же полосе, что и письмо биологов МГУ. В нем позиция настоящих ученых побивалась испытанным приемом — цитатами из работ классиков марксизма-ленинизма. Ученики Лысенко сделали в своей статье очередное открытие: «Основным фактором эволюции мичуринцы во главе с Лысенко считают естественный отбор, который не связан ни с внутривидовой борьбой, ни с внутривидовой взаимопомощью».

10 декабря 1947 г. лысенковцам ответил академик ВАСХНИЛ Б.М.Завадовский, который мастерски показал, что «творческие дарвинисты» прибегли к недостойному приему — выборочному цитированию и передергиванию высказываний Маркса и Энгельса по вопросам дарвинизма. Он вновь отметил, что лысенковцы для обсуждения биологических проблем применяют социологическую аргументацию, отождествляют учение о внутривидовой конкуренции с мальтузианством и тем самым запутывают вопрос. Ситуация повторилась: Митин ознакомил лысенковцев со статьей до ее публикации и поместил в том же номере статьи В.Столетова и Н.Турбина, призванные смазать впечатление от статьи Завадовского.

А 27 декабря 1947 г. Митин лично «подвел итоги» дискуссии. Он заручился совсем уж неотразимым аргументом — цитатой из товарища Сталина о «плоском эволюционизме» Дарвина, который будто бы «отвергал диалектически понятое развитие». Митин утверждал поэтому, что не следует относиться к учению Дарвина как к догме и что отрицание внутривидовой борьбы есть не отрицание учения Дарвина, а перевод его в высшую фазу «советского творческого дарвинизма». Статья Митина сопровождалась

примечанием, что редакция газеты разделяет высказанные в ней положения.

Дискуссия на страницах «Литературной газеты», таким образом, была исчерпана. Но Юдинцев и его соратники не пожелали оставить последнее слово за лысенковцами. Они перенесли борьбу в стены Московского университета, тем более что испытывали нападки и в родном МГУ. З.Я.Белецкий, известный своими экстремистскими воззрениями, на заседании кафедры диалектического и исторического материализма МГУ, которую он возглавлял, заявил: «Признание внутривидовой конкуренции основным фактором эволюции, как и вся формальная генетика, с которой это признание находится в непосредственной связи, представляет собой пережиток буржуазной идеологии в биологической науке» [17].

Под председательством Юдинцева было проведено специальное открытое заседание ученого совета биологического факультета МГУ по вопросам внутривидовой борьбы у животных и растений. Как рассказывает С.Э.Шноль, на этом заседании «после вступительного слова С.Д.Юдинцева великий следопыт, зоолог, натуралист профессор Александр Николаевич Формозов красочно рассказал, как на самом деле живут зайцы и волки. Академик Иван Иванович Шмальгаузен, как и на лекциях студентам, наклонившись к своим запискам, монотонно и без ораторства изложил существующие теории эволюции. Лучший лектор университета профессор Д.А.Сабинин говорил о проявлениях внутривидовой конкуренции в растительном мире на примере физиологии растений» [9. С.320]. Доклады участников заседания были опубликованы отдельным изданием под редакцией Юдинцева [18].

В №2 «Вестника МГУ» за 1948 г. С.Д.Юдинцев, А.Л.Зеликман и З.И.Берман выступили с развернутой теоретической

статьей «К вопросу о внутривидовой борьбе за существование». Авторы не только подробно разобрали возражения лысенковцев против внутривидовой борьбы, но и предельно ясно показали смысл этого вопроса для биологической науки. Отбросив как несостоятельное отождествление теории внутривидовой конкуренции с мальтузианством, Юдинцев и его коллеги разъяснили истинную роль внутривидовой конкуренции для механизма естественного отбора. Среди особенностей данного вида действует естественная внутривидовая конкуренция. Уклонения от признаков вида первоначально совершаются в форме незначительных индивидуальных различий. Такое уклонение у какой-нибудь группы особей ослабляет конкуренцию между нею и исходным видом. Поэтому именно эти новые признаки сохраняются под действием естественного отбора. Наметившиеся среди потомков небольшие различия в дальнейшем углубляются, так как конкурирующим группам выгодно все более удаляться друг от друга. На начальных этапах расхождения признаков еще сохраняются особи, занимающие промежуточное положение между обособляющимися группами. Но в борьбе за существование они неизбежно терпят поражение. Идет процесс дифференциации вида, удерживаются многие приспособительные признаки. Сама межвидовая борьба, которую так активно педалировали сторонники Лысенко, возможна лишь на базе различий, достигнутых в результате внутривидовой борьбы. Так дарвинизм, опираясь на теорию внутривидовой конкуренции, объясняет непрерывность эволюции, преемственность между видами при отсутствии последовательных переходов между ними. В заключение авторы дали понять, что если уж можно говорить о творческом дарвинизме в Советском Союзе, то только применительно к тем, кто, по-



С А.Г.Банниковым. 1959 г.

добно академику И.И.Шмальгаузену, действительно развивает учение Дарвина, но никак не в отношении безграмотных воззрений Лысенко. Подобное сопоставление было для Лысенко горше любых теоретических опровержений.

В феврале 1948 г. деканат биофака МГУ организовал Всесоюзную конференцию по проблемам дарвинизма. В ее работе, которая продолжалась в течение шести дней, приняли участие ученые из АН и АМН СССР, крупнейших университетов страны, сельскохозяйственных и медицинских институтов. Среди докладчиков были И.И.Шмальгаузен, М.М.Завадовский, А.А.Парамонов, И.М.Поляков, В.Н.Сукачев, В.П.Эфроимсон, М.М.Камшилов и др. По воспоминаниям С.Э.Шноля, в Большой коммунистической аудитории МГУ «всюду на ступеньках, в проходах, на высоких подоконниках, плотной толпой в дверях стояли шумные, возбужденные студенты», которых было так много, что самому Юдинцеву с тру-

дом удалось войти в зал. «Это была последняя перед сессией ВАСХНИЛ 1948 г. возможность заявить о чрезвычайной опасности для страны, ее сельского хозяйства, ее благосостояния лысенковского обскурантизма» [9. С.319–320].

Ход конференции и принятые на ней резолюции были подробно освещены в статье С.Д.Юдинцева и А.Л.Зеликмана в «Вестнике МГУ». Авторы обзора отметили, что особенностью конференции было привлечение внимания не только к собственно научной, но и к философской стороне проблемы. Ведь лысенковцы оперировали в основном идеологическими аргументами. Участники конференции решили обратиться в Министерство высшего образования с тем, чтобы увеличить удельный вес естественнонаучных дисциплин в программах философских факультетов университетов.

Лысенковское «учение» представлял на конференции Ф.А.Дворянкин, который «после

доклада Сабинина, вызвавшего энтузиазм аудитории, сказал: «Что это вы тут радуетесь, мне все это напоминает старинный лубок “Как мыши кота хоронили”» [9. С.320].

В принятом 8 февраля 1948 г. постановлении по итогам конференции говорилось: «Игнорирование или отрицание роли внутривидовой борьбы за существование является несостоятельным в фактическом и методологическом отношении и неизбежно должно привести к антидарвинизму» [19. 115–124; С.124–125]. Был избран оргкомитет для проведения 2-й конференции. Но ей уже не суждено было состояться. Прав оказался Дворянкин.

Сразу же после августовской сессии ВАСХНИЛ Юдинцев был немедленно снят с должности декана. По словам Л.С.Осиповой, его изгнание было существенной утратой как для студентов, так и для факультета в целом [11. С. 156].

12 августа 1948 г. в Большой зоологической аудитории биофака МГУ состоялось общее собрание коллектива факультета. Открывая собрание, ректор МГУ А.Н.Несмеянов сказал, что Т.Д.Лысенко поддерживают партия и правительство, что, поскольку декан С.Д.Юдинцев совершил в прошлом ряд ошибок, он отстранен от занимаемой должности, и представил нового декана И.И.Презента. Как вспоминает Ю.Л.Цельникер: «Вслед за ректором выступил Юдинцев, который монотонным голосом зачитал по бумажке, что он совершил ошибку, собрав совещание по внутривидовой борьбе, поддержав противников Лысенко, и считает, что увольнение его было справедливым». За этим последовало драматическое выступление Сабинина, сказавшего, что ни при каких условиях не отречется от истины. Эти слова Сабинин вскоре подтвердил своей гибелью.

Юдинцев очень переживал вынужденный уход из МГУ. В ноябре 1948 г. он по приглашению

академика АМН СССР Г.Ф.Гаузе поступил старшим научным сотрудником в Лабораторию антибиотиков АМН СССР, а с января 1953 г. работал в секторе антибиотиков Института фармакологии, химиотерапии и химиопрофилактики АМН СССР. Им были проведены исследования по всасыванию, циркуляции и выделению антибиотиков из организма [20. С.22—29, 86—90]. Им был установлен ряд новых научных фактов относительно влияния физиологического состояния макроорганизма на циркуляцию антибиотических веществ. Он показал, что уровень концентрации антибиотиков в крови, а следовательно, и их лечебный эффект в орга-

низме зависят от состояния нервно-гуморальных факторов макроорганизма. Итогом стала защищенная в 1954 г. докторская диссертация «Некоторые закономерности циркуляции антибиотиков в зависимости от физиологического состояния организма». Тогда же он получил звание профессора.

В декабре 1953 г. Сергея Дмитриевича назначили директором вновь созданного Института по изысканию новых антибиотиков АМН СССР. Небольшую лабораторию, в которую пришел работать в 1948 г., он сумел превратить в институт и получить для него прекрасное здание. Юдинцев оставался в должности директора до конца жиз-

ни. При его участии в 1956 г. был основан журнал «Антибиотики», в котором опубликован ряд его научных статей о всасывании и выделении из организма актиномицина, колимицина, кристалломицина, мономицина и других антибиотиков. Под его редакцией в 1958 г. вышли труды симпозиума «Пути и методы изыскания противораковых антибиотиков».

Умер Сергей Дмитриевич Юдинцев 26 января 1960 г. в Москве. ■

Автор благодарит за предоставленную информацию родных С.Д.Юдинцева: сына Ю.С.Юдинцева и племянницу Г.Г.Жарикову.

Литература

1. Полянский Ю.И. Годы прожитые. Воспоминания биолога. СПб., 1997.
2. Российский государственный архив социально-политической истории (РГАСПИ). Регистрационный бланк члена КПСС №00055524 (1954).
3. Шарыгин В. Искатель антибиотиков // Сельские огни (Кикнур). 1987. 8 сентября.
4. РГАСПИ. Ф.17. Оп.100. Личное дело С.Д.Юдинцева.
5. Труды по динамике развития. М., 1935. Т.IX.
6. Ученые записки МГУ. Вып.20. М., 1939.
7. Ученые записки МГУ. Вып.54. М., 1940.
8. Ректоры Московского университета / Сост.: В.В.Ремарчук. М., 1996.
9. Шноль С.Э. Герои и злодеи российской науки. М., 1997.
10. «Что невозможно, то и вероятно». Роман Бениаминович Хесин-Лурье // Природа. 1993. №11.
11. Мозаика судеб биофаковцев МГУ 1930—1960 годов поступления. Т.1. 1930—1950 годы. М., 2007.
12. Вестник МГУ. 1947. №12.
13. Вестник МГУ. 1947. №2.
14. Вестник МГУ. 1948. №4.
15. Есаков В.Д., Левина Е.С. Сталинские «суды чести»: Дело «КР». М., 2005.
16. Вестник МГУ. 1947. №12.
17. Литературная газета. 1947. 27 декабря.
18. Внутривидовая борьба у животных и растений: Сб. докладов / Отв. ред. С.Д.Юдинцев. М., 1948.
19. Вестник МГУ. 1948. №4.
20. Новости медицины. 1951. Вып.23.



ПРИРОДА.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ

ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННО - ИСТОРИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛЪ ДЛЯ САМООБРАЗОВАНІЯ

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

проф. В. А. Вагнера и проф. Л. В. Писаржевскаго.

Философія естествознанія. Астрономія. Физика. Химія. Геологія съ палеонтологіей. Минералогія. Общая біологія. Зоологія. Ботаника. Человѣкъ и его мѣсто въ природѣ.

ІЮЛЬ—АВГУСТЪ.

МОСКВА.

1912 г.

Очерки по геохимии Задачи современной минералогии*

А.Е.Ферсман

Весь прошедший период минералогии можно назвать периодом описательной систематики: все задачи и цели исследования сводились к установлению стройной классификации минералов, подробному описанию их свойств и признаков. И в противоположность этим старым задачам, новые видят в классификационной работе минералогии лишь «удобную схему, которая позволила бы охватить и исследовать те химические реакции, в результате которых получают данные минералы». В приведенных словах акад. Вернадского со всей резкостью выступает та эволюция научной мысли в области естественных наук, которая оттеснила за последние десятилетия вопросы классификации на последний план и признала за ними лишь узкую задачу, чуждую широких обобщений философского характера. Еще Р.Вирхов говорил, что наука не есть простое накопление известных фактов; наука только там, где эти факты поняты и логически связаны общей мыслью.

Это новое направление в области минералогии является тем более характерным, что весь исторический ход развития этой науки резко отличался от наук биологических. Там вопросы систематики и классификации потеряли свою остроту, так как мало-помалу создававшаяся многими десятилетиями система получила свое освещение и освящение в законах эволюции; разнородные части организованного мира объединились в стройное целое, и искусственные схемы К.Линнея сменились естественными классификациями. Само низложение вопросов систематики в биологии на степень простых схем, как говорил в 1908 г. Тимирязев, является неизбежным следствием исторического развития этих доктрин.

Совсем в другом положении находится минералогия; в ней нет и не может быть естественной классификации, и ее схемы заимствованы и основаны на принципах, выработанных другой наукой — химией. Как химики, мы распределяем отдельные продукты земных реакций по химическому составу, разбиваем их на самородные, окислы, сернистые соединения, на соли различных природных кислот. Но все эти группы, роды и виды не имеют ничего общего с теми же единицами в области биологии: там неумолимый закон эволюции связывает краси-

* В июле 1912 г. 29-летний А.Е.Ферсман, регулярно информировавший своего учителя В.И.Вернадского о работе над диссертацией и других делах, сообщает ему: «Сейчас подписал к печати первый очерк по геохимии в «Природе»: что такое минералогия? — Выйдет 15 августа». Текст печатается с небольшими купюрами. — *Примеч. ред.*

вой цепью длинные ряды поколений, здесь, в царстве мертвой природы, только общность и близость одного признака — химического состава. И когда минералог пытается применить эти схемы к природе, он видит, как далеки они от тех сложных химических и физических природных систем, какими являются наши минералы. Запутанной цепью переплетается между собой история отдельных минеральных видов: в одном и том же клочке земли, в одних и тех условиях существования встречается минералог тела из самых разнообразных химических групп: в одной и той же рудной жиле наравне с самородным драгоценным металлом видит он красивые кристаллы окисла кремния — кварца, скопления углекислого соединения (доломита или кальцита), массы сернистых, мышьяковистых и теллуристых соединений тяжелых металлов. Одно и то же химическое соединение может встречаться в самых разнообразных условиях: как, напр., сернистое железо может являться то как продукт кристаллизации из расплавленных масс при температурах выше 1000 градусов, то как результат жизнедеятельности организмов в торфяниках и болотах, то как продукт гниения на трупах животных.

Наша искусственная систематика далека от природы и от тех химических процессов, которые вызывают минералы к жизни.

А между тем всмотримся немного в химическую жизнь земной коры, и мы увидим, что сами минералы являются только временными продуктами химических реакций Земли.

В глубинах еще кипят и медленно застывают очаги расплавленных масс при огромных давлениях, измеряемых тысячами и десятками тысяч атмосфер, при температурах, превышающих тысячи градусов; огромные скопления газов, паров, летучих соединений вырываются на поверхность Земли из этих глубин то в виде газовых струй, то в виде горячих источников. Неумолимо разрушают атмосфера и вода на поверхности Земли застывшие массы некогда расплавленных пород, механически измельчая, химически изменяя и растворяя их. Органическая жизнь во всем многообразии и сложности ее проявлений участвует в этом процессе перегруппировки и превращения одних природных соединений в другие. Но наравне с этим разрушением в глубинах морских бассейнов идет постоянное накопление осадков; слой ложится на слой; то, что было дном моря, делается достояни-



Александр Евгеньевич Ферусман.

ем более глубоких зон, и в чуждой им обстановке, под давлением вышележащих слоев, в условиях высокой температуры начинают вновь создаваться минералы из неоднородных продуктов разрушения Земли.

И куда мы ни посмотрим, всюду разрушение или созидание, всюду сложные, медленные, едва заметные химические реакции.

Но для нас, простых зрителей, выхватывающих только один момент из этих длительных процессов, нам кажутся застывшими все эти минеральные тела, и «мертвой» лежит перед нами неорганизованная природа. Мы выбираем из этой могучей лаборатории отдельные соединения, однородные физически и химически, и называем их минералами. Мы даем им определенное название, определяем химический состав и, таким образом, искусственно фиксируем одну фа-

зу в сложном химическом процессе, из которого мы вырвали наш минерал. Одни минералы мы считаем обычными, так как они являются наиболее устойчивыми в тех реакциях, которые идут вокруг нас, так как они лучше вооружены в борьбе за свое существование. Другие минералы мы считаем редкими, но редки они не только потому, что необычны те процессы, которые вызывают их к жизни, но и потому, что они очень скоро переходят в новые формы, в более устойчивые химические соединения. В этой постоянной деятельности неорганизованной природы есть своя борьба за существование, свои законы жизни, превращений и смерти. Посмотрите, как упорно борются на поверхности Земли минералы со своими тремя главными врагами окружающей нас обстановки: водой, кислородом и угольной кислотой. Только те из них, которые выдерживают борьбу с этими деятелями поверхности, могут рассчитывать на долгое существование и на накопление. Но если соединение легко растворимо (хлористый натрий), если оно может подвергнуться окислению (сернистое железо) или разложиться угольной кислотой (кремнекислые соединения), то неизбежно под влиянием этих деятелей оно перейдет в новую форму, и из тех элементов, которые его составляют, образуются новые минеральные виды.

Как упорно человек в течение долгих веков выделяет самородные металлы, но природа неизменно берет их у него обратно, окисляя железо, превращая в карбонаты свинец, цинк и медь, расплавляя золото!

Но в круговороте химических превращений, среди постоянных колебаний условий земной поверхности, характер химических процессов часто и быстро меняется.

Минералог, как палеонтолог, видит только отдельные моменты из длинной цепи природных явлений: мы отлично знаем, что и у исследователей прошлых судеб органического мира мало в руках переходных стадий и что было время, когда отдельные ископаемые виды и роды в представлениях Ж.Кювье казались незыблемыми, самостоятельными творениями природы, отделенными друг от друга земными катастрофами. Теория эволюции заменила эти отрывочные картинки прошлого постепенную цепью медленных превращений.

Так и от глаз минералога ускользает та цепь химических процессов, которые медленно перегруппировывают элементы в земной коре, и перед нами лежат отдельные минералы, лишь как отдельные звенья этой цепи.

Но если так, если минерал есть только этап в длинном природном процессе, то не естественнее ли взять за единицу в своих исследованиях не минерал, а те его составные части, те неизменяемые в наших обычных представлениях простые тела, которые мы называем элементами?

И от старой минералогии с ее объектами исследования, минералами, мы переходим к молодой геохимии, единицей которой являются химические элементы.

Накопленный долгим научным трудом описательный материал молодая геохимия должна разложить по новым систематическим единицам, по тем простым телам, которые еще Дж.Максвелл назвал краугольными камнями природы.

«В вечном беспокойном стремлении к более устойчивым формам скитается атом элемента, и не видно конца и цели его скитаниям», — говорит И.Вальтер, рисуя постоянную смену созидания и разрушения во всех областях и во всех глубинах земной коры.

История странствования и переходов элементов в земной коре, вот одна из основных задач геохимии.

Было бы, однако, ошибочно думать, что эти задачи тождественны с задачами общей химии. В геохимии вопрос ставится несомненно более узко, так как поле, доступное ее исследованию, ограничивается лишь тоненькой земной корой с определенными термодинамическими условиями, с определенными температурами, вероятно, не выходящими за пределы -50 и $+2000$ градусов. Весь ход химических реакций в этих узких пределах регулируется соотношением количеств элементов, определенными законами процессов минералообразования. Но вместе с тем химические процессы земной оболочки во много раз сложнее и запутаннее тех простых реакций, которые изучает общая химия: бесконечно разбавленные растворы, медленные,

постепенные химические превращения, требующие огромных промежутков времени, недоступных лабораторной практике и, в результате этих процессов, не простые стехиометрически закономерные соединения, а сложные физические и химические системы, которые содержат иногда до 20 различных элементов в самых разнообразных пропорциях и с самым различным характером связи между собой; вот эти сложные природные системы, независимо от того, будут ли они твердыми, жидкими или газообразными, мы называем минералами.

Таким образом, резко намечаются задачи геохимии: изучение жизни отдельных элементарных тел в земной коре в связи с исследованием тех процессов, которые регулируют эту жизнь. Геохимия должна изучать всю физико-химическую обстановку, в которой протекают земные реакции, количественное распространение и роль отдельных элементов, законы их совместного нахождения в природе. Таким образом, для каждого из 80 известных нам элементарных тел геохимия должна стремиться к изучению следующих основных вопросов:

I. Связь элемента с теми или иными типами изверженных пород. Совместное нахождение с другими элементами.

II. Роль элемента в жидких процессах, в горячих или поверхностных источниках.

III. Накопление и характер перехода элемента на поверхности Земли. Выделение его в самородном виде.

IV. Общее количество элемента в земной коре и условия образования его главнейших соединений.

V. Роль элемента в метеоритах, характер его соединений и сравнение их с земными минералами.

Такова вкратце схема изложения одного из главнейших отделов нарождающейся геохимии. Несомненно, что во многих случаях эта схема должна будет видоизменяться в зависимости от того или иного свойства элемента, резко отличающего его от других простых тел. Для одних такая картина природных процессов уже выясняется, но для большинства других нам неизвестны последовательные стадии их странствований и переходов.

Я не могу останавливаться более детально на этих вопросах общего характера и перейду к отдельным примерам.

Остановимся на группе фтора, хлора, брома и йода; мы знаем из общей химии, что эти четыре элемента составляют одну естественную группу и что их свойства изменяются постепенно, соразмерно с изменением их атомных весов. Какова же их история в земной коре?

История йода и брома нам очень мало известна. Мы знаем их почти исключительно в качестве элементов поверхности, главным образом в морских бассейнах; знаем, какую роль играют водоросли в их накоплении, знаем, что они были в растворах и в древних морях и вместе с каменной со-

лю образывали осадки при высыхании соленых озер и морей. Но откуда взялись они на поверхности Земли, среди продуктов разрушения изверженных пород, когда в последних мы их почти не встречаем? Мы не знаем ни одного минерала глубин, выкристаллизовавшегося из расплавленных масс, который содержал бы в своем составе или йод, или бром*.

Перед геохимией стоит загадка, требующая своего разрешения.

Зато широкая картина раскрывается перед нами в истории хлора и фтора. Их судьбы мы можем проследить с самых глубоких зон земной коры, где мы встречаем их в составе минералов, образовавшихся путем охлаждения расплавленных масс; они одни из первых выпадают при охлаждении тех очагов магм, которые кипят в более глубоких зонах земной оболочки. В виде минерала апатита, в мельчайших иголочках, входят они в состав всех гранитов, порфиринов, диоритов, базальтов, и каждый кубический метр этих пород содержит не меньше 200 граммов связанного хлора или фтора. Но далеко не все количество этих летучих газов остается внутри самой застывшей расплавленной породы. Большая часть их успевает вырваться сквозь покров пород, сковывающих остывающий очаг, и проложить себе дорогу вверх по трещинам к поверхности Земли. Но здесь очень скоро пути этих двух элементов расходятся. В горячих водных источниках большая часть фтора скоро находит себе устойчивое соединение: он соединяется с тем кальцием, которого так много в каждом клочке земной коры, в каждом природном растворе, и этим путем он образует в рудных жилах и в трещинах горячих источников скопления красивого плавикового шпата (флюорита), способного выдержать легко борьбу за свое существование, труднорастворимого в воде, стойкого в слабых кислотах и щелочах, малоизменяемого большинством природных реактивов. И лишь небольшие количества фтора достигают поверхности и вырываются среди других газов в вулканических областях, покрывая стенки трещин налетом фтористых соединений. Так скоро кончается странствование фтора на земной поверхности, и лишь бесконечно малые количества фтористого кальция, способные растворяться в воде океанов, улавливаются организмами, попадают в скорлупки раковин, в тела и кости животных, и в составе фосфоритов накапливается этот элемент в местах массовой гибели животных организмов.

Совсем иную историю рассказывает нам хлор. Ему чужды столь трудно растворимые соединения, как некоторые соли фтора. Беспрепятственно поднимается он на земную поверхность; белым, как снег, легко смываемым налетом солей покрывает

он склоны и стенки еще дышащих вулканов. Его легко растворимые соли механически захватываются при кристаллизации различных минералов, и в большинстве кварцев микроскоп может открыть пустоты с включениями хлористых солей. Среди постоянного разрушения и деятельности воды на поверхности Земли этот элемент легко освобождается из своего заключения и переходит вновь в раствор, уносится ручьями и реками в количестве 200 миллионов тонн ежегодно в те огромные скопления элементов, которые мы называем океанами. Медленно, в течение долгих геологических эпох, собирается там хлор, и только в особых условиях пустынного климата, под не пропускающим воду покровом ила и пыли, нанесенной ветром, накапливаются на дне бассейнов хлористые соли, раскрывая перед нами картины климатического режима отдаленного прошлого. Вечно скитается этот элемент по земной коре, почти не зная таких соединений, в которых он был бы устойчив против всемогущей деятельности воды.

Посмотрите на другой пример, на историю углерода — того элемента, из которого построена живая материя, изучению которого посвящена целая отрасль химии. Сколько таинственного и неясного в путях его странствования в земной коре! В самых первых стадиях его существования, доступных нашему исследованию, мы встречаемся с этим элементом в расплавленных магмах. То в виде листочков или шаровых скоплений графита, то в виде кристаллов драгоценного алмаза входит он в состав различных пород, застывших в глубинах и жилах из расплавленных масс. Но главная часть этого элемента ускользает из застывающих массивов: то в виде летучих углеводородов и карбидов поднимается он вверх по жилам, образуя скопления графита (на Цейлоне), то, соединяясь с кислородом, в виде углекислого газа устремляется вверх, к свету Божьему. Мы знаем, что всемогущая кремнекислота в глубинах не дает возможности этому газу образовывать солей, и действительно нам неизвестно ни одного сколько-нибудь важного минерала изверженных пород, который содержал бы угольную кислоту. Зато те же породы удерживают ее механически в своих пустотах так же, как они удерживали растворы солей хлора, и в этих газовых включениях накапливается в 5—6 раз большее количество угольной кислоты, чем то, которое входит в состав нашей атмосферы. В областях вулканов, не только действующих, но уже давно потухших еще в третичное время, вырывается этот газ в атмосферу, то смешиваясь с водой и образуя нарзаны, то собираясь в отдельные газовые струи вместе с другими летучими соединениями.

Как могучий фактор химических превращений начинает угольная кислота на земной поверхности свое разрушительное действие; в противоположность глубинам здесь она, а не кремневая, является госпожой положения: она разрушает извержен-

* Скорее всего, эти элементы входят в исключительно малых количествах в состав тех апатитов, о которых речь впереди.

ные породы, извлекает металлы, соединяется с кальцием и магнием, накапливаясь в виде известняков и доломитов; в колоссальных количествах собираются ее соли в водных бассейнах, и из них строят организмы свои раковины, из них строят кораллы свои могучие постройки.

Но та же органическая жизнь ее разрушает: в зерне хлорофилла солнечный луч разлагает углекислый газ, и растения, выделяя кислород, накапливают в себе вместе с солнечной энергией и массы углерода. Если растительный организм гибнет и кислород поверхности не успеет завладеть этим элементом, то начинается медленное его накопление: под влиянием жизнедеятельности различных микроорганизмов и бактерий, как показали наблюдения А.Реньо, идет медленное обогащение продуктов распада растений углеродом: образуются залежи угля.

Но из глубин этот элемент снова появляется на поверхности Земли; на этот раз его поднимает сам человек, и среди постоянной борьбы за свое существование, за завладение природными запасами энергии, человечество ежегодно сжигает более 700 миллионов тонн угля.

Так борются между собой деятели различного порядка и различного значения, то окисляя углерод, то переводя его в самородное состояние.

Бывали периоды в истории земной коры, когда усилившаяся вулканическая деятельность выбрасывала в атмосферу колоссальные количества угольной кислоты; бывали и такие моменты, когда пышно развернувшаяся тропическая растительность в грандиозных размерах снова возвращала углерод в его самородное состояние. Перед этими процессами Земли бледнеет роль человека с его заводской и фабричной деятельностью, когда один вулкан Котопачи каждый год вливает в атмосферу столько же угольной кислоты, как весь город Париж со всем его населением и со всей его фабричной деятельностью. Если современное потребление угля будет расти так же, как оно росло последнее столетие, то, по расчетам Клерка (Ф.У.Кларка. — *Примеч. ред.*), количество угольной кислоты в атмосфере через тысячу лет должно было бы удвоиться. Но в вечном круговороте химических процессов Земли сама природа поддерживает равновесие, и чаще всего странствование каждого элемента замыкается в круговой (циклический) процесс.

Мы не можем в достаточной степени оценить значение этих медленных превращений углерода на земной поверхности, так как они, по мнению С.Аррениуса, не только влияли на климатический режим поверхности, но и обуславливали изменения в развитии всего органического мира. Перед этими картинами, идущими в самой поверхностной пленке Земли, которую мы называем биосферой, скудными кажутся нам сведения о роли этих элементов в земных глубинах, в изверженных породах и магмах. Невольно бросается нам в глаза это раз-

личие, когда мы сравниваем эти данные с теми теоретическими соображениями, которые разными путями приводят исследователей к мысли о существовании в глубинах Земли карбидов (Дорбэ, Менделеев) или об образовании углеводородов и нефти космическим путем (Соколов).

Или, может быть, все доступные нам породы являются лишь поверхностной окалиной, шлаком глубинных очагов магмы, не имеющим ничего общего с составом самих глубин?

Вопрос за вопросом нарастает при каждой попытке сколько-нибудь связно нарисовать судьбу элементов в земной коре.

Таинственными путями попадает в атмосферу азот, и так же, как углерод, входит он в сложный циклический процесс, то окисляясь в азотную кислоту, то вновь возвращаясь в самородное состояние. Его происхождение в атмосфере настолько неясно, что акад. Вернадский высказал мысль, что в нем, может быть, мы имеем один из тех газов, которые приходят к нам из далеких, неведомых нам глубин Земли.

В противоположность азоту, происхождение других благородных газов, как, например, гелия, мы знаем хорошо, но не знаем, куда они исчезают: многие из них диффундируют, вероятно, в междупланетное пространство, и в обобщении акад. Вернадского представляется этот процесс, как трагическая потеря того вещества, из которого построена наша планета.

А между тем все эти картины химической жизни Земли бледнеют перед историей жизни радиоактивных элементов. Вся лаборатория природы оказывается лишь простой игрушкой в сравнении с лабораторией внутри каждого атома; ее химические процессы, ее тепловые эффекты оказываются ничтожно малыми в сравнении с процессами постоянного распада радиоактивных тел. Новый луч света брошен на химию земной коры, и широкий путь исследования открывается в этой области перед геохимией. Сами выбранные нами единицы — элементы — начинают колебаться, и в настоящее время их неизбежность является лишь пережитком старины. Даже щелочные металлы, как калий, оказываются слабо радиоактивными, а вся природа во всех своих уголках несет на себе следы той сложной лестницы элементарных видов, которая ведет от урана через ионий, радий, эманацию и твердый радиоактивный остаток к последним более устойчивым формам, может быть, к свинцу. В широких обобщениях Джоли, Стретто и Соколова этот распадающийся атом радиоактивных веществ не только определяет тепловой режим земной поверхности и глубин, но и является причиной могучих процессов горообразования и нагромождения горных цепей.

Таковы отдельные, случайно выхваченные, примеры из истории странствования элементов в природе.

Разве не грандиозны эти картины и разве не раскрывается перед нами химическая жизнь земной коры в совершенно новом свете?

Так оживают перед нами старые схемы скучной минералогии, и из отдельных страниц мы вырываем отдельные строчки и, перекраивая их, создаем картины химической жизни Земли. Ведь мы берем для этого старые классификационные схемы и на них строим новое здание — геохимию. Мы научаемся ценить огромный материал, накопленный веками скучной, педантичной, описательной работы, научаемся ценить и те старые искусственные схемы, которые нам казались столь бесплодными.

Посмотрите, как упорно и пока почти бесплодно собирает метеорология длинные столбцы цифр; когда-нибудь оживут и они в свете широких обобщений и выльются в закономерные кривые природы!

Но пока здание молодой геохимии только строится: много вопросов поднято и мало на них ответов. Но мне кажется, что часто правильно поставленный вопрос более двигает науку вперед, чем сотни неудачно построенных и малообоснованных ответов.

Задачи поставлены: на путях минералогии нарастает исследование жизни и истории каждого отдельного элемента в земной коре.

Именно в последние годы, когда принципы постоянства и неизменяемости элементов поколеблены, вопросы их совместного нахождения в природе являются совершенно в новом освещении. Даже если далеко стоять от мысли об общности происхождения из одного или нескольких видов материи, как это думал еще У.Крукс, все же мы не можем не видеть закономерностей в нахождении и распространении элементов в земной коре. Эти закономерности, например, для церия, лантана, диимия или ниобия и тантала, бария и марганца не могут быть объяснены на основании совокупности всех известных нам физико-химических свойств каждого из этих тел. Здесь, очевидно, играют роль причины иного порядка, но выяснение вопроса представляется нам лишь в отдаленном будущем. А пока будем собирать сведения о каждом отдельном элементе в земной коре, и из этих отдельных отрывков странствования и переходов в природе более широкий и пронизательный ум когда-либо построит общую картину жизни каждого элемента — его биографию: ведь идеи в области естественно-исторических наук рождаются не вдруг, они вырастают вместе с долгой и упорной подготовительной работой наблюдения, описания и опыта.

Почти сто лет спустя

Б.Е.Боруцкий,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Александр Евгеньевич Ферсман ко времени, когда были написаны очерки по геохимии, был уже известным, активно работающим ученым. Потрясенный и захваченный революционными геохимическими идеями В.И.Вернадского в минералогии, Ферсман горячо пропагандировал их среди студентов Московского университета, куда был приглашен в 1909 г. своим учителем в качестве преподавателя минералогии. Он прочитал

там краткий курс геохимии и спустя три года был избран профессором. С молодым задором он пропагандировал эти идеи в Московском народном университете А.Л.Шанявского, созданию которого активно способствовал и куда был назначен преподавателем минералогии в 1911—1912 гг. Как известно, народный университет могли посещать все желающие, в том числе девушки (впервые в России), ставшие горячими поклонницами его лекций, а некоторые из них впоследствии разделили

с Ферсманом горести и радости легендарных экспедиций на Кольский полуостров.

После знаменитой «профессорской забастовки» Ферсман вслед за Вернадским и другими прогрессивными преподавателями в знак протеста против реакционных реформ высшей школы царского министра Л.А.Кассо покинул Московский университет и переехал в Санкт-Петербург. Здесь он был утвержден (7 декабря 1911 г.) преподавателем минералогии Санкт-Петербургских (Бестужевских) высших женских

курсов, но не порвал связей с Народным университетом Шанявского, утвердившим его преподавателем эпизодического курса геохимии на 1913—1914 гг. В октябре 1912 г. Ферсман выступил с докладом о новых путях развития минералогии на годичном заседании МОИП. Однако это все были устные лекции, импровизации — так как он никогда не составлял их конспектов. И вот теперь — первая публикация этих идей в журнале «Природа».

Ферсман уже активно сотрудничал с «Природой». Первая его статья, «Алмаз, его кристаллизация и происхождение», появилась в №3, а всего с 1912 по 1916 г. им опубликовано здесь около 100 статей и заметок. Статьи в «Природе» Ферсман рассматривал как часть своей научной работы, так как они давали ему возможность напрямую обратиться к широкой аудитории молодежи, не отягощенной еще заучиванием скучных догм традиционной минералогии, заразить ее своим видением будущего науки о минеральном веществе Земли.

Внимательно прочитаем эту статью. Со времени ее публикации прошло уже почти 100 лет, и современный искушенный читатель, конечно, увидит, что кое в чем наука ушла далеко вперед, и не все в статье нужно воспринимать дословно и буквально. Это исторический документ, в котором отчетливо зафиксировано время. Действительно, Александр Евгеньевич упоминает в статье всего 80 химических элементов, а сейчас их в Таблице Менделеева уже более 100, и физики заполняют все новые и новые клеточки. В тексте упоминаются такие химические элементы, как дидимий (Di), — позже выяснится, что это смесь празеодима и неодима (Pr + Nd), и ионий (Io) — хотя уже в 1910 г. стало ясно, что он является изотопом тория с массой 230. Ферсман пишет только о процессах в узкой оболочке Земли — земной коре, а сейчас мы уже изучаем минералогии метеоритов,

Луны и других планет Солнечной системы, исследуем дно океанов и пытаемся проникнуть (правда, в основном только мыслью или с помощью весьма несовершенных методов исследований) в мантию Земли и земное ядро.

Кое в чем изменились и пропагандируемые представления о минералогии и геохимии — они уточнены еще при жизни Ферсмана им самим, и тем более за последующие 50 лет. Но основные мысли, заложенные в этой работе — Манифесте наук о минеральном веществе, — столь же актуальны, не утратили своей остроты, а в свете последних событий в минералогии стали восприниматься фундаментальными и более необходимыми, чем раньше, поскольку далеко не все ученые осознали революционные идеи Вернадского и Ферсмана, поняли их смысл и значение. Не все поняли, что минералогия переживает такой же кризис, какой в свое время произошел в физике, и смогли увидеть предложенные пути выхода из него. Какие же это положения?

К сожалению, и сейчас многие весьма уважаемые ученые продолжают считать, что удел минералогии — только выявлять в природе новые химические соединения, новые минералы, добавлять их к уже известным, систематизировать и классифицировать, а изучать условия их образования и существования, «жизнь» минералов как геологических объектов — задача других наук: геологии, петрологии, литологии, учения о полезных ископаемых и, наконец, геохимии, вынося ее за пределы минералогии. В этом они видят высший смысл минералогической науки.

Некоторые исследователи сделали открытие новых минералов даже смыслом, целью всей своей жизни. И это поощряется: такие «первооткрыватели» пользуются уважением «минералогической» общественности, получают на подобные исследования

средства — всевозможные гранты и т.п. Они пользуются поддержкой богатых коллекционеров, так как эти «новые» минералы всегда можно выгодно продать. Бывает, что в качестве обоснования сохранения подобного традиционного подхода к минералогии они не брезгают спекулировать и геохимическими идеями Вернадского и Ферсмана.

Еще в 1822 г. великий шведский химик и минералог, почетный член Санкт-Петербургской Императорской академии наук, Йёнс Якоб Берцелиус написал: «Минералогия как учение о неорганических соединениях, составляющих наш земной шар, является лишь частью химии, на данных которой она всецело и исторически основывается». Двести лет назад, когда минералы выделяли по внешнему виду и полезным свойствам, это было очень смелое, революционное утверждение. Почему бы не распространить законы химии и на минералогию?

И действительно, почти через 100 лет этот вывод Берцелиуса повторил Вернадский в своих лекциях, читаемых в Московском университете, слушателем которых был Ферсман. Но... Вернадский говорил уже о совсем другой химии — химии природных процессов, «гео-химии», которая объясняла, как и почему образуются в природе те или иные минералы того или иного химического состава, а не только констатировала это. Увы, не все это поняли или захотели понять. Даже в нашей стране, где авторитет Вернадского и Ферсмана был необычайно высок. Что же говорить о зарубежье, где далеко не каждый минералог знает, кто такой Ферсман. К тому же можно передать геохимии все природные аспекты минералогии, а в минералогии все оставить как есть, без изменений. Так, собственно, и поступила Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации

(КНМНК ММА), руководствуемая в своей деятельности исключительно химическими (точнее, кристаллохимическими) принципами.

Систематизировать минералы необходимо хотя бы для того, чтобы навести порядок в нескольких тысячах названий, в которых затейливо переплетаются латинские и греческие термины, названия стран, гор и рек, имена выдающихся ученых. «Открыватели» минералов имеют право дать им любое имя, даже любимой женщины. Систематика давно превратилась уже в самостоятельную науку — свод правил, по которым фактические данные о минералах формализуются и выстраиваются в иерархическую лестницу. Но как их формализовать и по каким критериям выделять *самостоятельные минеральные виды*? Химики придумали простое, но формальное правило: если какого-то элемента в данной позиции больше 50 относительных процентов, то это уже самостоятельный минерал, и ему можно давать свое название. КНМНК ММА настоятельно «рекомендует» внедрять это формальное правило в минералогическую практику, и ни один новый минерал не будет утвержден, если его автор не следует данной «рекомендации».

Однако Ферсман напишет позднее: «Минерал — это не химическое соединение из учебника химии, а геологическое тело». Сопоставляя в комментируемой статье минералогическую систематику с биологической, Ферсман справедливо замечает: «Там вопросы систематики и классификации потеряли свою остроту, так как мало-помалу создававшаяся многими десятилетиями система получила свое освещение и освящение в законах эволюции; разрозненные части организованного мира объединились в стройное целое, и искусственные схемы Линнея сменились естественными классификациями. Само низложение вопросов систематики

в биологии на степень простых схем, как говорил в 1908 г. Тимирязев, является неизбежным следствием исторического развития этих доктрин. Совсем в другом положении находится минералогия; в ней нет и не может быть естественной классификации, и ее схемы заимствованы и основаны на принципах, выработанных другой наукой — химией... Но когда минералог пытается применить эти схемы к природе, он видит, как далеки они от тех сложных химических и физических природных систем, какими являются наши минералы... Наша искусственная систематика далека от природы и от тех химических процессов, которые вызывают минералы к жизни».

В публикуемом очерке Ферсман впервые вырвался из оков формальной описательной минералогии. Позднее в журнале «Огонек» (№8 за 1927 г.) он сам дал этому блестящую оценку: «Мы выдвинули пропаганду идеи минералогии не как сухой науки о каких-то безжизненных мертвых объектах природы, а как науки об истории происходящих в природе явлений, тех сложных химических процессов, которые преобразуют лик Земли». Кстати, термин *геохимия* принадлежит не Вернадскому и не Ферсману. Впервые его предложил немецкий химик Х.Ф.Шёнбейн еще в 1842 г.: «Мы должны иметь геохимию, прежде чем может идти речь о настоящей геологической науке, которая ясно должна обращать внимание на химическую природу масс, составляющих наш земной шар, и на их происхождение». Последняя часть этого положения явно вступает в спор с тезисом Берцелиуса, но, как нередко бывает, это не было своевременно замечено и оценено. Геохимические идеи Вернадского и Ферсмана дали ему вторую жизнь и, по сути дела, впервые превратили минералогию *в науку*. Об этом Ферсман также пишет в «Природе», ссылаясь на слова Рудольфа Вирхо-

ва: «Наука не есть простое накопление известных фактов; наука только там, где эти факты поняты и логически связаны общей мыслью».

Нельзя не отметить еще одного чрезвычайно важного положения Вернадского и Ферсмана, отраженного в «Очерках», но понятого далеко не всеми современными минералогами, петрологами и геохимиками. Речь идет о «жизни» минералов, правомочности сопоставления жизни живой и неживой природы. Многие исследователи полагают, что, беря в руки образец, они видят минерал таким, каким он образовался миллионы лет назад, забывая о геологическом времени и о тех изменениях (часто весьма существенных), которые он претерпел за это время. Если это простительно петрологам, которых интересуют в первую очередь лишь параметры кристаллизации минералов из магматического расплава, безоговорочно принимаемые за равновесные, то непростительно минерологам. Эти процессы должны быть досконально изучены и поняты, прежде чем мы осмелимся сделать вывод об условиях образования минералов и последующих их изменениях. Необходимо также сначала оценить условия формирования пород и геологическую историю конкретного изучаемого региона, время, место и способ концентрации компонентов в рудные месторождения. Петрологам часто это не под силу. Но это могут и должны делать минералоги, вооруженные изощренными современными методами исследования минерального вещества — структурным, спектроскопическим, физико-химическим анализом. Новые методы дают уникальную информацию о посткристаллизационной истории существования минералогических объектов и их эволюции.

Тогда вновь можно вернуться к номенклатуре и систематизации минералов, но уже на

другом уровне. Напомним приведенное выше утверждение Ферсмана, что в минералогии «нет и не может быть естественной классификации». Позвольте с этим не согласиться. Почему же — нет, если систематизировать реальные, а не условные «формализованные» минералы, такие, какими они образуются естественным (не зависящим от нас) путем в природе и существуют в соответствии с естественными природными законами? Если мы станем выявлять поля устойчивости минералов и изучать возможные вариации химического состава и особенности кристаллической структуры в их пределах в естественных конкретных геологических обстановках? Тогда мы «откроем» много для себя нового, существенно отличающегося от формальных догм традиционной описательной минералогии*.

И последнее. В комментируемой статье по понятным причинам упор сделан на геохимию. Ферсман так и пишет: «От старой минералогии с ее объектами исследования — минерала-

* *Боруцкий Б.Е.* Фундаментальные проблемы древнейшей науки // Природа. 2007. №2. С5—15.

ми, мы переходим к молодой геохимии, единицей которой являются химические элементы». Приводится ряд примеров геохимической «жизни» фтора, хлора, брома и йода, история углерода, азота, радиоактивных элементов. Но это пока еще робкие попытки нащупать законы поведения химических элементов в земных условиях.

Позднее Ферсман напишет многотомную монографию «Геохимия», в которой попытается объяснить эти законы с позиций строения атома, размеров атомных и ионных радиусов, энергетических характеристик химических элементов и приведет гигантский фактический материал о распространении и судьбе отдельных элементов в разных геохимических обстановках. Но чем больше мы будем узнавать о химических элементах, тем яснее нам станет, что заменить минералогии геохимией невозможно, что одновременно с «молодой» геохимией нужно создавать и новую, «молодую» минералогии — генетическую минералогии или, как называл ее позднее Ферсман, — *минерогению*.

Химические элементы в земных условиях диффундируют, мигрируют, рассеиваются или

концентрируются, накапливаются в отдельных зонах и регионах, осаждаются на так называемых геохимических барьерах. Но стабильной формой существования вещества, по крайней мере в земной коре, является минерал, в котором элементы связываются в прочное устойчивое химическое соединение. И дальнейшая судьба химических элементов связана уже с минералами, с химической связью, с кристаллической решеткой, с устойчивостью минералов в тех или иных термодинамических условиях.

Отрыв химических элементов от формы их нахождения — минералов — обедняет геохимию; связь ее с минералогией — наоборот, обогащает, делает общую науку о веществе Земли мощным оружием познания процессов ее формирования и геологической истории. Именно Владимира Ивановича Вернадского и Александра Евгеньевича Ферсмана прочно связываются с созданием новой науки — геохимии, но они были одновременно и выдающимися минералогами и должны остаться в памяти поколений как великие реформаторы науки о земном веществе. ■

Астрофизика

Углеродная атмосфера у нейтронной звезды в Кассиопее А

Тонкий слой углеродной атмосферы обнаружен у нейтронной звезды, представляющей собой остаток сверхновой Cassiopeia A (Cas A). Рентгеновская обсерватория NASA «Chandra» в 1999 г. получила изображение Cas A, в центре которого 10 лет назад был выявлен ранее невидимый точечный источник рентгеновского излучения. Новые данные, переданные приборами «Chandra», позволили астрофизикам предположить, что точечный источник – это нейтронная звезда, остаток взорвавшейся некогда массивной звезды. Но каких-либо вариаций рентгеновского или радиоизлучения и вообще каких-либо признаков активности этот объект не показывал, что совсем не характерно для молодых нейтронных звезд.

Остаток сверхновой Cas A, удаленный от нас на 3.4 кпк, всегда был загадкой. Взрыв сверхновой на этом месте произошел около 330 лет назад, но, по-видимому, остался незамеченным на Земле (известно лишь одно сообщение английского астронома Дж.Флемстида, наблюдавшего нечто странное в 1680 г.). Возраст центрального объекта в Cas A примерно в 10 раз меньше, чем у других нейтронных звезд. Столь молодых и при этом доступных сейчас для детального изучения остатков сверхновых астрономы больше не знают, поэтому Cas A открывает уникальную возможность заглянуть в самое начало жизни нейтронной звезды.

Наличие рентгеновского излучения, а также отсутствие при-

знаков пульсара свидетельствуют о том, что магнитное поле на поверхности этой нейтронной звезды относительно слабое. При изучении некоторых молодых нейтронных звезд астрофизики уже встречались с аномально слабыми магнитными полями (менее 10^{12} Гс). Но в случае Cas A признаков магнитного поля пока вообще не заметно. Неясно также, имеют ли эти нейтронные звезды слабые магнитные поля на протяжении всей жизни и поэтому уже никогда не станут радиопульсарами, или же некоторые процессы в недрах такой звезды по мере ее остывания все же могут привести к развитию более сильного магнитного поля.

Астрофизики В.Хо (W.C.G. Ho; Университет в Саутгемптоне, Великобритания) и К.Хейнке (C.O. Heinke; Университет провинции Альберта, Канада) изучили рентгеновский спектр нейтронной звезды Cas A, чтобы выяснить состав ее поверхности. Ожидалось, что верхний слой состоит либо из железа (конечного продукта термоядерных реакций), либо из водорода и гелия, попавших на поверхность из межзвездной среды. Но при моделировании лучше других подошел спектр излучения углерода.

Применив модель нейтронной звезды с углеродной атмосферой, астрономы посчитали, что область, излучающая рентгеновские лучи, должна равномерно покрывать всю поверхность звезды. Эта модель хорошо объясняет отсутствие рентгеновских пульсаций: при вращении нейтронной звезды ее однородная поверхность вряд ли будет демонстрировать изменение блеска.

Свойства такой углеродной атмосферы замечательны. В отличие

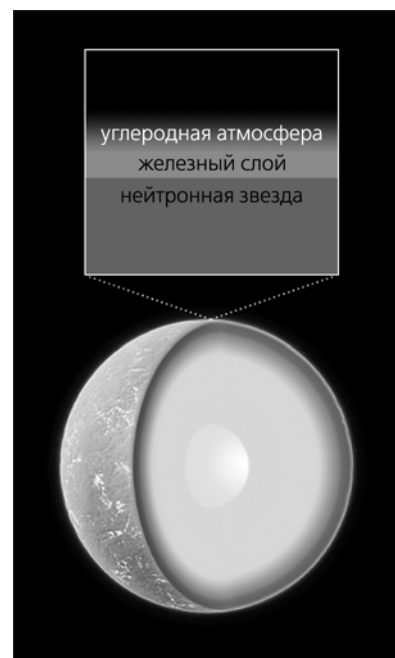


Схема нейтронной звезды с ее очень тонкой углеродной атмосферой.

NASA /CXС/ M.Weiss

от большинства астрономических объектов, нейтронные звезды очень малы – их диаметр всего около 20 км. Соответственно, атмосфера нейтронной звезды имеет еще меньшие размеры – ее высота всего лишь 10 см, зато плотность, как у алмаза, а давление у основания более чем в 10 раз превышает давление в центре Земли. Температура атмосферы, по оценкам, почти 2 млн градусов. Сила тяжести на поверхности звезды в 100 млрд раз больше, чем на Земле, – этим и объясняется невероятная тонкость ее атмосферы. Удивительно, как столь тонкая полоска атмосферы, буквально вуаль над поверхностью звезды, может сыграть ключевую роль в коренном пересмотре взглядов на природу подобных объектов.

Известно, что углерод появляется в результате синтеза элементов, образовавшихся после взрыва сверхновой и ядерных реакций на горячей поверхности нейтронной звезды: легкие водород и гелий превращаются в углерод. Но как же тогда объяснить отсутствие водорода и гелия на самой нейтронной звезде?

Здесь надо вспомнить о молодости этого объекта. Мы видим его в возрасте всего в несколько сотен лет, тогда как другие нейтронные звезды насчитывают тысячелетия. Во время взрыва сверхновой, которая создала Cas A, она была нагрета до температур в миллиард градусов. Сейчас она охладилась до нескольких миллионов градусов, но и этого достаточно, чтобы на ее поверхности начался ядерный синтез, т.е. горение водорода и гелия и превращение их в углерод.

Nature. 2009. V.462. P.71–73 (Великобритания).

Химия

Новый материал на основе графена

Научное сообщество ныне переживает бум, связанный с открытием графенов¹. Эти наноструктуры, представляющие собой элементы графитовой плоскости поперечником до нескольких микрометров, отличаются уникальными физико-химическими свойствами, такими как гибкость, высокая электро- и теплопроводность, большое число свободных связей, придающих им способность присоединять различные радикалы, и т.п. Эти особенности позволяют использовать графены в качестве элементов нанoeлектронных устройств и компонентов нанокompозитных материалов с улучшенными механическими свойствами.

Недавно в одной из лабораторий японского Исследовательского центра нанотехнологий синтезировали и затем исследовали новый нанокompозитный материал,

¹ Технологичный графен // Природа. 2009. №7. С.77.

содержащий наряду с графенами продольно упорядоченные углеродные нанотрубки². Эта структура получена методом химического осаждения паров с использованием двухслойного катализатора в виде пленки кобальта толщиной от 2.1 до 3.6 нм, нанесенной на 5-нанометровую пленку из нитрида титана. Подложкой служил слой оксида кремния толщиной 300 нм на поверхности кремниевой пластины. Нанокompозит синтезировали в течение 10 мин при температуре 510°C в потоке смеси аргон/ацетилен (9/1) при давлении 1000 Па. В результате на подложке сформировалась структура толщиной около 5 мкм. Как показали наблюдения, выполненные с помощью сканирующего электронного микроскопа, она содержит вертикально ориентированные углеродные нанотрубки, связанные между собой несколькими графеновыми слоями.

Верхняя поверхность материала очень гладкая (размер шероховатости не превышает 4 нм на площади 500 нм²), благодаря чему имеет характерный блеск. Используя просвечивающий электронный микроскоп, выяснили, что толщина пленки, составленной из графеновых слоев, пропорциональна толщине пленки кобальтового катализатора и меняется от 5 до 30 нм. Расстояние между графеновыми слоями составляет, согласно измерениям, около 0.38 нм, так что число слоев в графеновой пленке варьирует от 5 до 105 — в зависимости от толщины пленки катализатора. Диаметр многослойных нанотрубок в синтезированном композитном материале составляет около 12 нм. Наблюдения показывают, что образцы содержат также частицы кобальтового катализатора, которые находятся в основном на границе нанотрубок с графеновыми слоями. Отсюда следует, что рост нанотрубок происходит в направлении от графенового слоя к подложке.

<http://perst.issp.ras.ru> (2009. Т.16. Вып.1/2).

² Kondo D, Sato T, Awano Y. // Appl. Phys. Express. 2008. V.1. P074003.

Химия. Биотехнология

О пользе хрена для нанотехнологий

Возможность естественного (биологического) разложения одностенных углеродных нанотрубок чрезвычайно важна: ведь их производство непрерывно растет, несмотря на то что достоверных данных о безопасности или токсичности наноматериалов пока нет³. Новые достижения в области нанобиомедицины приведут со временем к широкому применению *in vivo* данных уникальных материалов. При этом даже специально подготовленные, «безвредные», нанотрубки (очищенные, имеющие нужные размеры), используемые для диагностики и лечения, останутся в теле человека и смогут вызвать воспаления или иные неблагоприятные последствия. Развитие нанотехнологий увеличит содержание углеродных нанотрубок в окружающей природе (откуда часть их, естественно, попадет в организм человека).

Результаты исследований специалистов из Питсбургского университета (США)⁴ свидетельствуют: найти пути биодеструкции «отработанных» одностенных углеродных нанотрубок поможет хрен, точнее, содержащийся в его корнях фермент пероксидаза, который катализирует окисление многих органических и неорганических веществ при участии перекиси водорода.

Пероксидазу добавили к суспензии карбоксилированных нанотрубок, выдержали 24 ч в темноте при 4°C и добавили перекись водорода (~40 мкМ). Для оценки активности пероксидазы использовали спектрофотометрию и электронный парамагнитный резонанс. Оба метода подтвердили, что нанотрубки не снижают активность фермента. В течение эксперимента, который продолжался 16 недель, каждые две недели отбирали и исследовали пробы

³ Вредны ли углеродные нанотрубки? // Природа. 2006. №4. С.82–83.

⁴ Allen B.L. et al. // Nano Lett. 2008. V.8. P.3899–3903.

(250 мкл) инкубированной суспензии, для компенсации добавляли равный объем H_2O_2 .

Данные спектрофотометрии продемонстрировали, что карбоксилированные нанотрубки окисляются. Контроль каждой пробы с помощью просвечивающей электронной микроскопии наглядно показал, как происходит деструкция нанотрубок. Сначала уменьшается их длина: с исходных (в среднем) ~520 нм до ~230 нм за восемь недель, к тому же сроку появляется глобулярное вещество; через 12 недель проба уже состоит в основном из глобул; через 16 недель нанотрубки практически отсутствуют!

В дополнение был проведен термогравиметрический анализ более крупного образца. Примерно 5 мг карбоксилированных нанотрубок инкубировали с пероксидазой при 37°C, каждый час добавляя 1 мМ H_2O_2 в течение пяти дней. В результате масса нанотрубок уменьшилась примерно на 40%, ее потеря начиналась с 200°C (в то время как для исходных — с 900°C).

Результаты разных методов, которые использовали авторы, подтвердили окислительную модификацию нанотрубок при воздействии пероксидазы и H_2O_2 . Исследо-

вания продолжаются. Необходимо выяснить, что представляют собой продукты деструкции нанотрубок, насколько они безвредны. Интересно найти другие эффективные пероксидазы, содержащиеся в тканях растений и животных, ведь расширение возможностей каталитической биодеструкции нанотрубок позволит применять эти материалы в медицинских целях, не опасаясь токсичных эффектов. <http://perst.issp.ras.ru> (2009. Т.16. Вып.3).

Геология

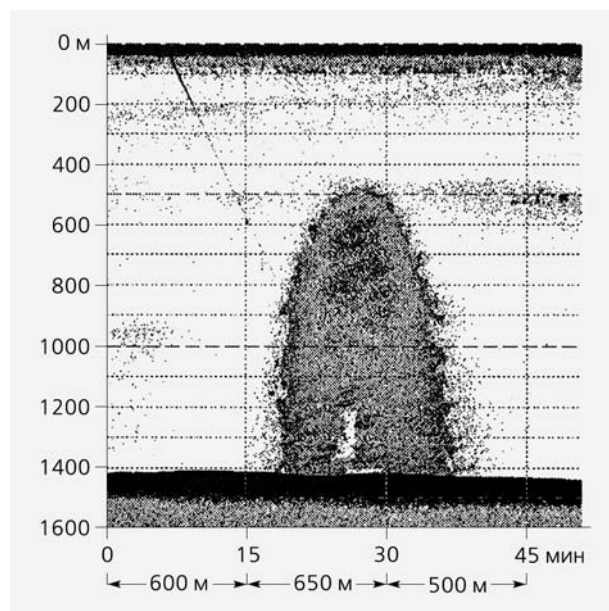
Выходы газов на Байкале

О выходе метана из донных отложений Байкала известно с давних времен. Об этом сообщали еще первые путешественники, посетившие озеро в XVII в. Позднее изучение газов на Байкале проводило Восточно-Европейское отделение Императорского Русского географического общества. Новый этап исследований начался на рубеже XX—XXI вв., после того как были открыты газовые гидраты в осадках озера и грязевые вулканы на его дне.

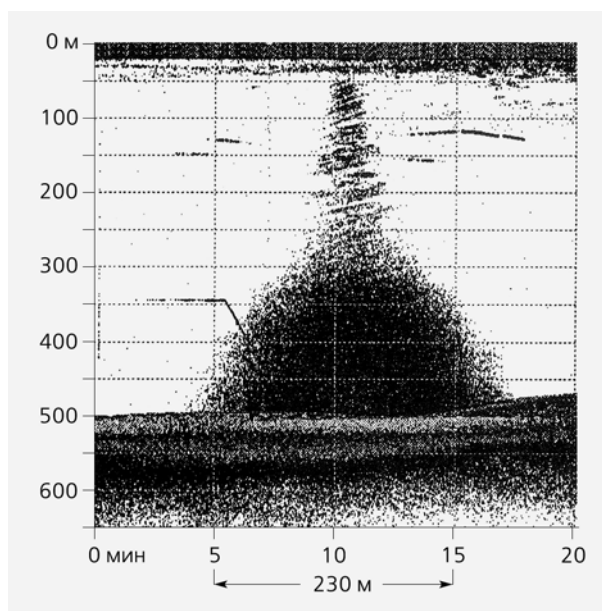
Сотрудники Лимнологического института Сибирского отделения

РАН (Иркутск) Н.Г.Гранин, М.М.Макаров, К.М.Кучер и Р.Ю.Гнатовский с 2005 г. занимаются поиском выходов газа (так называемых факелов) из донных осадков и выявляют их роль в вертикальном перемешивании водной толщи озера. С использованием различных акустических комплексов и научно-исследовательских судов за четыре года ими проведено 20 экспедиций. Общая протяженность трасс, на которых регистрировался эхолотный сигнал, составила 15 755 км, из них в северной котловине озера пройдено 3336 км, в средней — 5685 км, в южной — 6732 км. Таким образом, лучше других изучена южная котловина. Всего зафиксировано более 120 выходов (часть из них — по нескольку раз). Условно подразделив их на мелководные и глубоководные, авторы в своей работе рассматривают глубоководные выходы, расположенные на отметках, превышающих теоретическую глубину устойчивости газовых гидратов (380 м). Постоянная регистрация эхосигнала показала, что такие выходы есть во всех трех котловинах: семь — в южной, пять — в средней и один — в северной.

Сейсмопрофилирование и локатор бокового обзора позволили



Факел, зарегистрированный 7 октября 2005 г. в районе грязевого вулкана Санкт-Петербург.



Эхограмма газового факела «Ступа» в районе мыса Кадильного, снятая в августе 2007 г.

естественно ожидать, что первые признаки закисления Мирового океана должны проявиться в водах арктического бассейна. Для Южного океана прогнозируется, что условия ненасыщенности карбонатом по отношению к арагониту появятся к 2030 г., в северной части Тихого океана — к 2100 г., а в Арктическом бассейне — уже к концу следующего десятилетия.

В работе океанологов из Японии и Канады под руководством М.Ямамото-Кавай (M.Yamamoto-Kawai) анализируются факторы, которые влияют на рост ненасыщенности арктических вод карбонатом (в том числе на их распределение талыми водами при таянии морского льда), на апвеллинг глубинных вод, сформировавшихся в Северной Пацифике, на рост поглощения CO₂ океаном при освобождении Северного Ледовитого океана ото льда и др. Авторы делают вывод, что дальнейшее отступление южной границы полярных льдов от материка создаст условия, способствующие закислению вод, а значит, угроза морским экосистемам арктического шельфа возрастет.

Science. 2009. V.326. P.1098–1100 (США).

Палеогеография

Мамонты из карьера Келколово

Остатки мамонтовой фауны хорошо изучены и датированы в ряде местонахождений центральной части Русской равнины, в Фенноскандии, на соседних территориях Эстонии и Вологодской обл. Белым пятном оставалась территория Ленинградской обл., хотя разрозненные находки в бывшей Петербургской губернии были сделаны еще в XIX в. Среди известных местонахождений особо выделяется карьер Келколово, расположенный к югу от долины Невы между г.Кировском и пос.Павлово. В коллекциях музея Горного института в Санкт-Петербурге хранится значительное число отдельных фрагментов представителей мамонтовой фауны (*Mammuthus primigenius*, *Coelo-*

donta antiquitatis), но без достаточной сопроводительной документации и не датированных. А.А.Никонов (Институт физики Земли РАН), И.ван дер Плихт (Гронингенский университет, Голландия), Л.Д.Сулержицкий (Геологический институт РАН) и Х.А.Арсланов (Санкт-Петербургский университет) сообщают о новых исследованиях в этом карьере, собранных там остатках млекопитающих и фаунистических определениях этой коллекции.

Карьер Келколово — это крупный котлован (высота бортов 20–37 м) на северном склоне одноименной возвышенности, который частично заполнен двумя сообщающимися водными бассейнами, созданными для работы земснаряда. Наземная часть карьера представляет собой весьма сложную по строению толщу позднечетвертичных и голоценовых отложений. В 2001–2006 гг. удалось изучить не только наземную часть бортов карьера, но и (по буровым данным) нижележащую часть разреза до абс. высоты 0–10 м. Здесь были выявлены позднеледниковые бассейновые отложения (возраст 11.3–10.6 тыс. лет назад), моренный горизонт, бассейновые отложения ленинградского мегаинтерстадиала (радиоуглеродные датировки по торфу и древесине в пределах 46–30 тыс. лет назад), мгинские межледниковые глины, возраст которых с учетом палинологических данных относится ко второй половине микулинского межледниковья.

Единственная известная палеонтологическая находка в наземной части карьера относится к 1963 г. Из толщи песков, слагающих Келколовскую высоту, экскаватор поднял крупные кости позвоночного — тогда карьер разрабатывался открытым способом и располагался на высоте 35–40 м, на месте современного дачного поселка, стоящего высоко над дном карьера. Ныне в принадлежности этих остатков мамонту и недалеком их перемещении ученые не сомневаются — возраст или межстадиальный, или позднеледниковый. Все остальные фауни-

стические находки происходят из песчаной толщи ленинградского мегаинтерстадиала, которая размывалась земснарядом и перемещалась со дна водоема в сухие участки карьера. Здесь было собрано несколько десятков фрагментированных остатков, по которым удалось определить их принадлежность мамонту, носорогу, бизону, лошади, возможно — северному оленю и мелким копытным. Разрозненность частей скелетов, их нахождение совместно с окатанным каменным материалом, фрагментами древесины и спрессованного торфа говорит о значительном переносе остатков животных водным потоком от места их гибели или первоначального захоронения. По степени фоссилизации кости визуально можно подразделить на две группы: более фоссилизированные, очевидно, принадлежали животным ранней группы, в которой определены остатки носорогов и мамонтов.

Определения возраста различных остатков животных проводились по сборам Никонова как в отечественных лабораториях, так и в Центре изотопных исследований Гронингенского университета. Разные виды животных мамонтового комплекса, независимо от выполнения анализов в разных лабораториях и примененных методов, попадают в один и тот же возрастной интервал — 39–25 тыс. лет назад по ¹⁴C. Таким образом, время обитания животных мамонтового комплекса в Приневской низменности полностью совпадает с периодом ленинградского мегаинтерстадиала, временные границы которого определены как в отложениях самого карьера Келколово, так и по региону в целом при датировании только растительных остатков (древесины и торфа). Полученные датировки открывают новые возможности для более полных и адекватных реконструкций палеогеографической обстановки в данном регионе в период среднего валдая.

Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Новосибирск, 19–23 октября 2009 г. С.437–439.

Рецензии Путешествие в пермский период

М.Ю.Зубрева
Москва

Первое, что бросается в глаза, когда берешь в руки эту книгу, — ее изысканное оформление. Твердый ламинированный переплет. Добротная мелованная бумага. Каждый разворот окантован узором из напоминающих миниатюрные деревья дендритов — гидроокислов марганца (они часто встречаются на плитках пермских мергелей и песчаников на Урале). Светло-коричневый цвет фона, напоминающий пожелтевшие страницы древнего пергамента, повторяет цвет, которым принято обозначать отложения пермской системы на всех геологических картах мира.

В международной геохронологической шкале, или, иначе, шкале геологического времени (для широкой аудитории это название звучит, пожалуй, более благозвучно), русских названий — раз, два, и обчелся. Доминируют в основном названия западноевропейские, к которым в последние годы все чаще добавляются китайские. Но среди них незыблемым столпом возвышается наша Пермь — город, увековеченный в названиях пермского периода и пермской геологической системы.

В пермском периоде (299—251 млн лет назад), завершившем палеозойскую эру — эру древней жизни, — на нашей планете произошло немало важных и весьма масштабных событий. Причем события эти напрямую затронули и лик самой Земли как планеты (вспомним герцинское горообразование планетарного масштаба и обширные

покровные оледенения южных материков, объединявшихся в то время в единый суперконтинент Гондвану), и эволюцию органического мира.

Книга, о которой пойдет речь, удивительным образом совместила строго научное, основанное на достоверных и проверенных фактах, изложение самых разных аспектов развития биоты Земли в течение пермского периода с популярным, а можно без особых преувеличений сказать — захватывающим стилем изложения. Строго академические части органично сочетаются с художественными экскурсами в прошлое нашей планеты: то под покров древнего леса, то на берега пермского озера, отчего знакомство с обитателями пермского периода становится непосредственным и близким. Вот один из таких очерков.

«Над пустынным краем вставало солнце. Этот день можно было бы назвать одним из последних дней палеозойской эры, эры древней жизни, длившейся более трехсот пятидесяти миллионов лет. Солнце осветило безбрежную равнину, расстилавшуюся на месте современной европейской России. Основную гамму красок составляли разные оттенки красного, желтого и охристого цветов, подчеркнутых лучами поднимающегося светила. Блики солнца играли на поверхности мелководных озер то с пресной, то с горько-соленой водой, окруженных зарослями низкорослых кустарников или обширными солончаками с поверхностью, разбитой многочисленными трещинами усыха-



В.П.Ожгибесов, И.И.Терещенко, С.В.Наугольных.
ПЕРМСКИЙ ПЕРИОД: ОРГАНИЧЕСКИЙ МИР НА ЗАКАТЕ ПАЛЕОЗОЯ.

Пермь: Арт-Дизайн, 2009.
107 с.

© Зубрева М.Ю., 2010

ния. Кое-где были видны невысокие холмы с пологими склонами, покрытыми хвойным редколесьем. На вершинах холмов возвышались останцы из разрушающихся, выветривающихся пластов песчаников и известняков, образовавшихся на дне древних морей, когда-то покрывавших эту территорию. Еще дальше, за холмами, были видны красноватые барханы, уходившие к горизонту.

Из узкой расщелины в пластах песчаника, обнажавшихся на вершине холма, высунулась голова ящера, хозяина этого довольно удобного и безопасного жилища. Ящер не был особенно крупным: его голова достигала примерно тридцати сантиметров в длину. Вперевалочку рептилия начала вылезать из своего логова. Вскоре из расщелины показались сильное мускулистое тело и довольно длинный хвост.

Зевнув и потянув заднюю лапу, ящер начал оглядывать окрестности в поисках добычи.

О характере, или, точнее, свирепом нраве ящера — хозяина расщелины — говорили большие, слегка загнутые назад зубы, а также крючковидно изогнутая передняя часть верхней челюсти, приспособленная для хватания и удерживания вырывающейся добычи. Однако добычи как раз сейчас в ближайших окрестностях логовища не наблюдалось. Склон холма был пуст.

Архозаврус россикус, а именно так звучит полное имя нашего нового знакомца, приподняв поджарое, но мощное тело, медленно и уверенно начал спускаться с холма. Его путь пролегал мимо нескольких хвойных деревьев из семейства вольциевых, достигавших нескольких метров в высоту и внешне напоминавших современные араукарии. Под сильными когтистыми лапами ящера захрустели шишки и опавшая хвоя. В норки, вырытые под узловатыми корнями деревьев, нырнули напоминающие ящериц мелкие проколофоны. Однако архозавруса они не ин-



Зубная спираль геликоприона, удивительной хрящевой рыбы из подкласса эласмобранхий. Геликоприоны обитали в морях первой половины пермского периода. (По Фредериксу, 1915.)

тересовали: он искал добычу «посOLIDней» (с.62—63). Далее поиски продолжают в зарослях птеридоспермов (семенных папоротников), и, наконец, на песчаной отмели обнаружилась завидная добыча — переизавр.

Авторы поставили перед собой весьма непростую задачу: рассказать в одной книге и о климате пермского периода,

и о животных и растениях, населявших Землю в конце палеозоя, сопроводив при этом основную линию изложения серьезными экскурсами в методологию палеонтологических и стратиграфических исследований, а также подробным рассказом о наиболее значимых геологических памятниках пермской системы, располага-

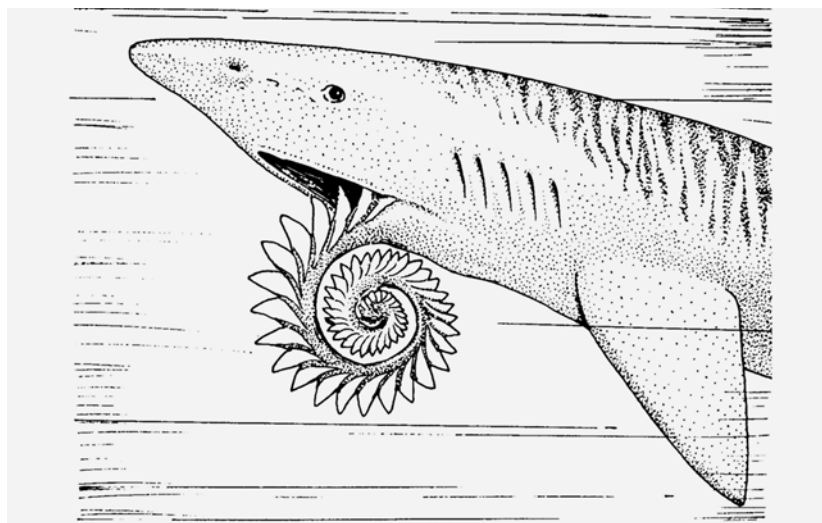


Рис.2. Возможно, так выглядел геликоприон, однако о его общем облике и положении зубной спирали палеонтологи продолжают спорить до сих пор. Реконструкция С.В.Наугольных

ющихся в Приуралье. Такая задача по плечу только настоящим знатокам палеонтологии и стратиграфии края. Именно к ним относятся авторы книги: Владимир Петрович Ожгибесов — стратиграф из Пермского университета; Илья Игоревич Терещенко — вице-президент некоммерческого партнерства «Пермский период», занимается мониторингом стратиграфических разрезов; и сотрудник Геологического института РАН Сергей Владимирович Наугольных, специалист по карбону, перми и триасу, популяризатор науки, постоянный автор «Природы». Все они работали в Приуралье.

Именно здесь и была установлена пермская геологическая система, самостоятельность которой в качестве неотъемлемого элемента геохронологической шкалы была обоснована в 1841 г. выдающимся английским геологом Родериком Мурчисоном (1792—1871).

Отдельно надо остановиться на иллюстрациях, превративших книгу «Пермский период» из традиционного научно-популярного издания в настоящий

художественный альбом. Практически на каждом развороте книги читатель видит полноцветные высококачественные фотографии различных пермских окаменелостей от кораллов и мшанок до скелетов древних ящеров. Снимки окаменелостей органично дополняются графическими и живописными реконструкциями как самих древних существ, так и ландшафтов, в которых те обитали. Не секрет, что во многих современных научно-популярных изданиях о палеонтологии из книги в книгу копируются отсканированные работы знаменитых анималистов, нередко — с вопиющим нарушением всех и всяческих авторских прав. В «Пермском периоде», к чести авторского коллектива, практически все иллюстрации оригинальны, а буквально два-три рисунка, заимствованные из старинных палеонтологических изданий, сопровождаются корректными ссылками на источник.

Книга включает несколько глав, названия которых говорят сами за себя: «Пермские окаменелости в музеях мира», «Краткие заметки о палеогеографии

Пермского края и органическом мире моря и лагун пермского периода», «Наземные экосистемы», «Изучение системы геологических памятников на территории Пермского края». В дополнительных очерках рассмотрен экосистемный кризис, имевший место на рубеже пермского и триасового периодов, а также жизнь в начале мезозойской эры, после пермо-триасового рубежа, так много поменявшего на нашей планете. Завершается книга обширным библиографическим списком, который поможет заинтересовавшемуся читателю найти дополнительную литературу по стратиграфии и палеонтологии пермской системы.

Книга издана небольшим тиражом, всего 1000 экземпляров, значительная часть которого уже разошлась. Остается лишь выразить надежду, что авторы и издатели «Пермского периода» запланируют второе издание этой книги уже более солидным тиражом, а на книжных полках наших читателей появятся новые, интересные, хорошо написанные и прекрасно иллюстрированные книги о палеонтологии. ■

География

А.Н.Чилингаров, В.М.Грузинов, Ю.Ф.Сычев. ОЧЕРКИ ПО ГЕОГРАФИИ АРКТИКИ. Обнинск: Арктифлекс, 2009. 248 с.

Авторы книги много лет работают в Арктике. Известный полярник и общественный деятель А.Н.Чилингаров и его коллеги немало сделали для того, чтобы привлечь к арктическим проблемам внимание научных кругов и официальных лиц. В результате в последние десятилетия в высоких широтах была организована дрейфующая станция «СП-32», подготовлена программа модернизации полярных станций и построены три новых полярных observa-

тории. По инициативе авторов книги были организованы две Полярных арктических ледовых экспедиции, которые провели оценку гидрологических и гидробиологических процессов в районе Северного полюса. Наконец, эти исследователи выдвинули и провели в жизнь идею Международного полярного года 2007—2008 (МПГ). Работам, проведенным в Арктике в этот период, и их результатам посвящена глава в книге. Но поскольку одного года явно не хватило для крупных геофизических обобщений, авторы добиваются ныне превращения МПГ в МПД — Международную полярную декаду (десятилетие).

Кроме того, они планируют обустроить Землю Франца-Ио-

сифа, чтобы она стала похожа на норвежский Шпицберген и могла служить рекреационным центром. В книге рассмотрены современные проблемы Северного морского пути и арктического шельфа, приведена краткая история освоения северных морей. Она будет полезной всем, кто интересуется географией полярных областей нашей планеты.

География

В.А.Никонов. КРАТКИЙ ТОПОНИМИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ. 2-е изд. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 512 с.

В словаре содержатся сведения об истории и происхожде-

нии около 4 тыс. российских и зарубежных названий стран, морей, рек, гор и других наиболее значительных географических объектов. Автор книги, Владимир Андреевич Никонов (1904—1988), — один из выдающихся отечественных исследователей ономастики, науки об именах (см.: Природа. 2010. №2. С.89), и топонимики, науки о географических названиях.

Так как происхождение многих из них остается спорным, автор приводит и рассматривает различные точки зрения, дает соответствующую литературу, предоставляя читателю возможность самому делать вывод. В предисловии к словарю Никонов написал: «Велика научная и практическая ценность изучения географических названий». Действительно, топонимика полезна и для исторических, и для географических, и для филологических изысканий. Словарь, безусловно, пригодится не только специалистам, но и широкому кругу читателей.

Медицина

К.А.Лебедев, А.В.Митронин, И.Д.Понякина. НЕПЕРЕНОСИМОСТЬ ЗУБОПРОТЕЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 208 с.

В последние годы во всем мире наряду с ростом аллергических заболеваний увеличивается и число случаев аллергической непереносимости зубопротезных материалов. Авторы книги, работающие в Московском государственном медико-стоматологическом университете, ведущий лабораторией клинической иммунологии К.А.Лебедев и его заместитель И.Д.Понякина, а также профессор кафедры факультативной терапевтической стоматологии А.В.Митронин, начали заниматься этой проблемой 20 лет назад, когда

большинство стоматологов не воспринимали такую аллергическую непереносимость всерьез. Однако обследование более 7 тыс. пациентов с клиническими проявлениями после протезирования показало, что в большинстве случаев их причиной был материал.

Несмотря на то что официально зубопротезный материал обладает достаточной биологической совместимостью, у некоторых пациентов возникает патологическая реакция после протезирования. Авторы подробно рассматривают ее клинические проявления, вопросы иммунофизиологии, а также адаптацию организма к протезным материалам и методы лечения. Сегодня повышенный интерес стоматологов к непереносимости связан с внедрением в широкую практику сложных методов протезирования. Особое внимание в книге уделено методам диагностики аллергической непереносимости и предварительному тестированию зубопротезных материалов, которое обеспечивает их безопасность для пациентов. Книга предназначена для стоматологов всех специальностей, аллергологов — теоретиков и практиков, а также иммунологов.

Биология

ВИД И ВИДООБРАЗОВАНИЕ. АНАЛИЗ НОВЫХ ВЗГЛЯДОВ И ТЕНДЕНЦИЙ (Труды Зоологического института РАН. Приложение №1) / Ред. А.Ф.Алимов, С.Д.Степаньянц. М.: Т-во научных изданий КМК, 2009. 304 с.

Эта коллективная монография — итог восьмилетних научных дискуссий, которые обычно происходят в Зоологическом институте РАН на семинарах «Вид и видообразование», организованных под советом «Проблемы общей биологии» Совета по биологии и медицине при

Санкт-Петербургском научном центре под руководством академика А.Ф.Алимова.

В первом разделе монографии («Из истории подходов к проблеме вида»), посвященном 300-летию со дня рождения Карла Линнея, отражены представления отцов-основателей систематики (Линнея, Палласа и др.) о классификации растений и животных.

В следующих двух главах («Упорядоченность биологического разнообразия» и «Подходы и методы в изучении видообразования») собраны статьи ботаников, микологов и зоологов, которые по-разному оценивают и интерпретируют проблемы упорядоченности биологического многообразия и приводят аргументы в пользу или против признания видов и родов как естественных категорий. В книге приводятся разные, порой противоположные точки зрения, сформулированные на базе таких общепринятых понятий, как «биологическое многообразие», «устойчивость», «дискретность» и «спорадичность». Авторы по-разному решают вопрос, к чему эти понятия приложимы — к биологическому объекту, рассматриваемому как «живая система» или как «живое тело»; к «длительно существующим комплексам популяций разных видов» цветковых растений, и наконец, к таксону видового или иного ранга.

Последний раздел («Теория и философия систематики») акцентирует внимание читателя на возможных путях совершенствования системы органического мира и приближения ее к естественной, насколько это возможно.

Биология вновь переживает полосу пересмотра представлений Эрнста Майра о виде и видообразовании. Прогностическая ценность классификации биологических объектов, тем не менее, очевидна, и об этом нельзя забывать.

Российские робинзоны острова Груммант

Л.М.Саватюгин,

доктор географических наук

М.В.Дорожкина

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт Роскомгидромета Санкт-Петербурга

Гордиться славою своих предков не только можно, но и должно.

А.С.Пушкин

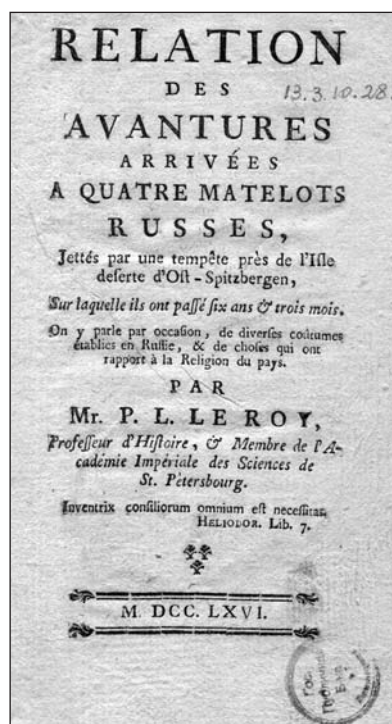
В 1719 г. в Лондоне впервые вышел в свет знаменитый роман английского писателя Д.Дефо, полное название которого «Жизнь и удивительные приключения Робинзона Крузо, моряка из Йорка, прожившего 28 лет в полном одиночестве на необитаемом острове у берегов Америки близ устьев реки Ориноко, куда он был выброшен кораблекрушением, во время которого весь экипаж корабля, кроме него, погиб; с изложением его неожиданного освобождения пиратами, написанные им самим». В основу сюжета романа положена реальная история. Шотландский моряк Александр Селкирк (1676—1721) в 1704 г. поступил боцманом на 16-пушечную галеру «Сэнк Пор» флотилии У.Дампира, направлявшейся в плавание к берегам Вест-Индии. Вспыльчивый и своенравный, Селкирк постоянно вступал в пререкания и споры с капитаном галеры Т.Стредлингом. После очередной ссоры, произошедшей в 1705 г. у берегов архипелага Хуан-Фернандеса (Тихий океан, 640 км к западу от побережья Чили), Селкирк потребовал, чтобы его списали с судна и высадили на ближайший остров Мас-а-Тьерра (ныне о.Робинзона Крузо). Здесь моряку пришлось провести в одиночестве четыре года и четыре месяца, прежде чем в начале 1709 г. его спас экипаж английского судна «Дьюк» под командовани-

ем В.Роджерса. Повествующий о необыкновенных приключениях и проникнутый духом просветительских идей, роман Дефо приобрел популярность не только в Англии, но и далеко за ее пределами. Изданный в России в 1766 г., он и здесь сразу завоевал читательские симпатии.

Спустя 47 лет после опубликования романа Дефо в Лондоне и в год его издания в России (в Петербурге) на французском языке вышла книга «Приключения четырех российских матросов, к острову Ост-Шпицбергену бурю принесенных, где они шесть лет и три месяца прожили», вызвавшая настоящую сенсацию и на время затмившая славу «Робинзона Крузо» [1].

Ее автор Петр (Пьер)-Людovic Ле Руа родился в 1699 г. в г.Везеле (Германия) в семье французов-протестантов. Получив блестящее образование в Берлинском, Франкфуртском и Галльском университетах, в 1731 г. был приглашен в Россию наставником старшего сына обер-камергера императрицы Анны Иоанновны, графа Э.И.Бирона. 5 мая 1735 г. по предложению президента Петербургской академии наук барона И.-А.фон Корфа возведен в чин академика по новой истории со специальным поручением производить надзор за хранением карт географического департамента с жалованьем 660 рублей в год.

19 мая 1735 г. фон Корф лично представил Ле Руа на заседа-



Титульный лист первого издания книги П.-Л.Ле Руа «Приключения четырех российских матросов, к острову Ост-Шпицбергену бурю принесенных, где они шесть лет и три месяца прожили», опубликованной в 1766 г. в Петербурге на французском языке.

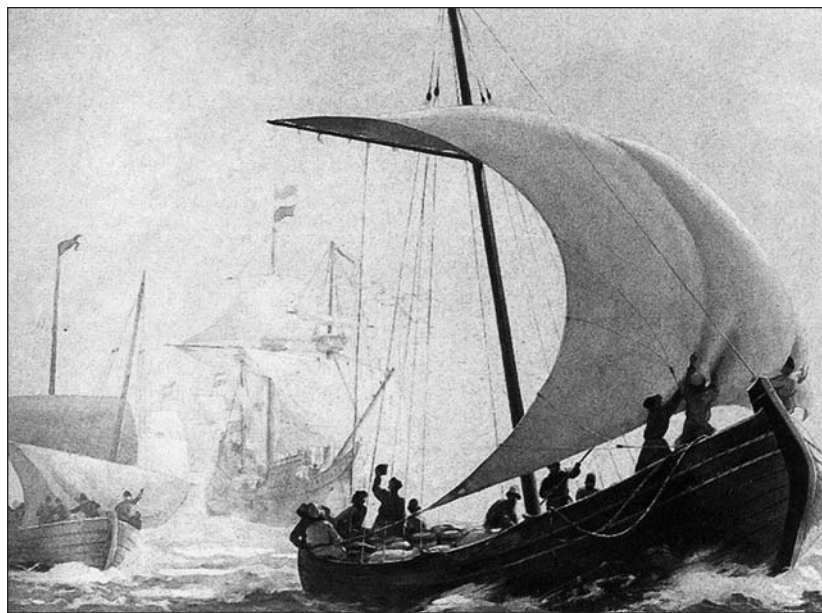
нии Петербургской академии наук. Два года спустя, 21 февраля 1737 г., Ле Руа выступил на заседании академии с чтением своего сочинения «De Epitaphio Adami in Insula Ceylo Inveniundo», в котором доказывал невероятность предположения,

что на о.Цейлон может находиться могила Адама.

С 1739 г. Ле Руа преподает французский язык в академической гимназии, в 1744 г. становится инспектором этой гимназии, а с 29 февраля 1748 г. — архивариусом академической конференции. Он перевел с французского на немецкий несколько сочинений (в том числе описание плана Москвы), дипломатических бумаг и указов, реляции о победах генерал-фельдмаршала Х.А.Миниха в Русско-турецкой войне и т.д. 10 августа 1748 г. уволен из Петербургской академии наук с формулировкой: «Чтобы деньги даром не давать, того ради определено помянутого Петра Ле Руа из службы академической уволить...» [2. С.6]. Однако благодаря прекрасному знанию языков в том же году получает место воспитателя детей влиятельного российского сенатора, генерал-адъютанта графа П.И.Шувалова.

Возможно, имя Ле Руа так и осталось бы в истории ничем особо не примечательным, если б не вмешался случай. Совершенно неожиданно он получает от Шувалова, владевшего в 1748—1768 гг. монополией на зверобойные промыслы в Ледовитом море и торговлю салом, необычное поручение — описать историю приключений на далеком архипелаге Шпицберген четырех российских промышленников, потерпевших кораблекрушение.

В 1743 г. житель г.Мезени Архангелогородской губернии Еремий Окладников снарядил на архипелаг Шпицберген, или, как его называли русские промышленники, Грумант, судно с 14 поморами для ловли китов и моржей. В течение первых восьми дней плавания судно шло с попутным ветром, однако на девятый ветер переменялся, и вместо западного побережья Шпицбергена, где ежегодно велся промысел морского зверя, судно оказалось у восточных берегов архипелага, в районе о.Малый Брун (Эдж), где было затерто льдами.

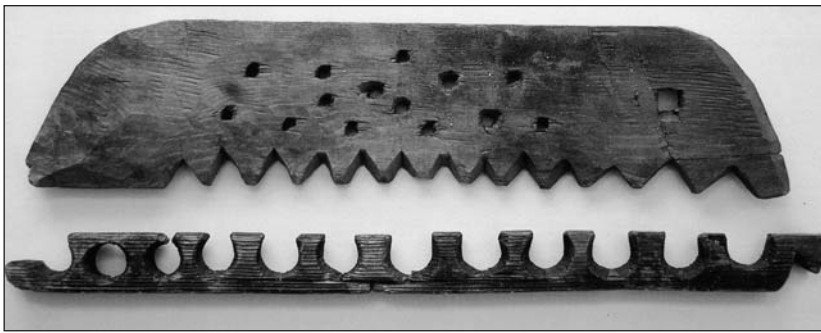


Поморские суда.

Промышленники, кораблю которых угрожала опасность быть раздавленным льдами, оказались в тяжелом положении. Штурман судна Алексей Химков вспомнил, что несколько лет назад в районе Малого Бруна собирались зазимовать мезенские поморы, для чего на острове ими была построена хижина из привезенного леса. На ее поиски команда отправила четырех человек — Алексея Химкова и матросов Ивана Химкова, Степана Шарاپова и Федора Веригина. Взяв с собой минимальное количество груза (ружье, порох на 12 зарядов и на столько же пуль, топор, маленький котел, 20 фунтов муки в мешке, нож, огниво и трут, табак и трубки), четверо поморов прошли около мили через ледяные торосы и оказались на острове. Здесь, почти в четверти мили от берега, они нашли хижину. Она имела длину около шести саженей, ширину и высоту в три сажени, в ней были сени и горница с глиняной русской печью без трубы. Переночевав в хижине, утром поморы отправились обратно на судно, однако, выйдя к морю, увидели перед собой открытую воду. Ночной шторм

вскрыл льды и унес судно с оставшимися на нем спутниками. Четверо поморов остались на острове одни. Двенадцатью выстрелами им удалось убить 12 оленей, в изобилии обитавших на острове. Затем промышленники починили избу и проконопатили ее мхом. Так как на острове не произрастало ни деревьев, ни даже кустарников, в качестве дров они использовали плавник.

Из принесенных морем остатков потерпевших крушение кораблей поморам удалось смастерить молоток, из камней — наковальню, а из оленьих рогов — клещи. С их помощью они сковали себе два железных наконечника для рогатин, обточив которые, прикрепили ремнями из оленьей кожи к палкам толщиной в руку. Этими рогатинами поморы убили белого медведя, мясо которого употребили в пищу, а жилы — на тетиву для лука, основой которого послужил еловый корень. Сковав и заточив четыре небольших железных наконечника, они привязали их медвежьими жилами к еловым палочкам, и, приделав с другой стороны перья чайки, получили стрелы. В течение по-



Поморские предметы быта, обнаруженные на архипелаге Шпицберген. Хранятся в Баренцбурге, в краеведческом музее «Помор». Деревянные календари (вверху), древнерусский алфавит, резной деревянный крест, шахматы.

следующих шести лет этим оружием добывали себе оленей (250), медведей, песцов. Долгое время питались сырым мясом — в хижине была русская печь, в которой нельзя было поставить котел; готовить же еду на улице постоянно было невозможно из-за погодных условий и недостатка дров. Со временем стали вялить мясо в дыму печи, развешивая его на палочках, укрепленных в верхней части кровли. Воду для питья брали

летом из ручьев, а зимой растапливали в избе снег и лед. Для постоянного сохранения огня сделали из глины сосуд, в котором непрерывно горело оленье сало. Когда сосуд стал подтекать, они придумали пропитать его клейстером из муки и оклеить лоскутками ткани. Светильни они изготавливали из остатков найденных на берегу канатов и веревок, а позже — из кусков ткани своей одежды. Со временем они стали выделыв-

вать шкуры оленей, шить из них одежду и обувь. Для этого пришлось изготовить иглы, шилья и нитки из жил. Летом они носили одежды, сшитые из кожи, а зимой — шубы из невыделанного оленьего меха. Жизнь поморов осложнялась визитами белых медведей, часто сильный снег заметал избу до крыши. В целом же, по мнению Ле Руа, если б не уныние, которое сопутствует уединенной поневоле жизни, у поморов не было бы поводов быть недовольными. Один только Алексей Химков сильно тосковал по жене и детям, оставшимся в Архангельске. По совету Ивана Химкова, который много раз зимовал на западном побережье Шпицбергена, от цинги поморы пили теплую оленью кровь, ели сырое и мерзлое мясо, а также сырую ложечную траву, старались не засиживаться на месте. Следуя этим правилам, трое из них избежали заболевания цингой. Четвертый же, Федор Веригин, с самого начала зимовки не смог преодолеть отвращения к оленьей крови, кроме того, он почти все время оставался в избе и вследствие этого заболел цингой. Шесть лет зимовки он провел в невыносимом страдании. В последние годы жизни не имел сил встать и поднести руку ко рту, и товарищи кормили его и ухаживали за ним, как за ребенком. Зимой 1749 г. Веригин скончался. В августе того же года оставшиеся трое поморов были неожиданно спасены.

Судно А.К.Корнилова из Онеги должно было зазимовать на Новой Земле, однако по совету директора конторы при сальном торге Вернизобера направилось на зимовку к Груманту. В пути ветер прибил корабль к тому месту, где обитали трое поморов. Увидев судно, поморы разложили костры на возвышенных местах и установили на берегу шест с оленьей шкурой. Заметив эти знаки, команда судна высадилась на берег. После переговоров со старшим команды трое поморов нанялись к не-

Встречи с забытым

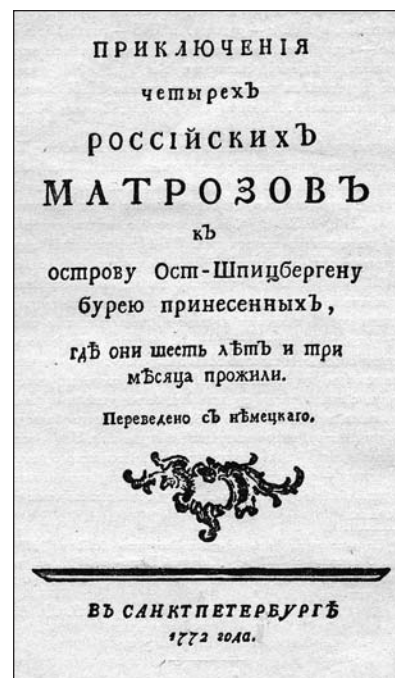
му на службу и договорились заплатить ему 80 рублей, когда он доставит их на родину. Поморы погрузили на судно 50 пудов оленьего сала, множество шкур и кож добытых ими животных. С собой они взяли также свой лук, стрелы, рогатины, старый топор, нож, шилья и иглы, жилы для шитья — все свое имущество. Осенью 1749 г. поморы благополучно вернулись на судне в Архангельск, прожив 6 лет и 3 месяца на Шпицбергене. Когда судно приставало к пристани, жена Алексея Химкова стояла на мосту и случайно увидела своего мужа, которого уже считала погибшим. Не дождавшись, пока судно пристанет к берегу, она бросилась в воду, чтобы поскорее встретиться с мужем, и едва не утонула.

Поручение Шувалова написать историю российских промышленников, потерпевших кораблекрушение у берегов Груманта, привело Ле Руа в некоторое замешательство. «Я должен по истине признаться, что я сперва не знал, как мне об этом рассуждать, до тех пор, пока не получил первого о том известия из города Архангельского от находившегося в оном директора конторы при сальном торге г.Вернизобера», — отмечал позже Ле Руа в своей повести [2. С.21]. Ознакомившись с письмом Вернизобера, Ле Руа обратился к Шувалову с просьбой вызвать из Архангельска в Петербург оставшихся в живых поморов, чтобы иметь возможность лично их расспросить. По приказу П.И.Шувалова в начале 1750 г. сюда были присланы «штурман Алексей Химков, который имел от роду пятьдесят лет, и один матроз по имени Иван Химков, который имел от роду тридцать лет» [2. С.22]. Первая встреча Ле Руа с поморами, во время которой он не только смог задать им свои вопросы, но и рассмотреть различные вещи, сделанные ими на Груманте, состоялась 21 января 1750 г. Беседуя с поморами, Ле Руа собрал обшир-

ный материал, на основе которого написал книгу, неожиданно ставшую главным итогом его жизни. При написании повести он также использовал данные обер-аудитора Архангельского адмиралтейства Т.И.Клингштедта. Как только поморы прибыли в Архангельск, Клингштедт сразу же распорядился привести их к себе, и, подробно расспросив обо всех приключениях, «записал ответы их в том намерении, чтобы оные издать в свет» [2. С.22]. Приехав спустя некоторое время в Петербург, Клингштедт ознакомился с сочинением Ле Руа, признал его вариант изложения истории российских поморов более полным и удачным и, отказавшись от намерения издать свою рукопись, передал ее в распоряжение Ле Руа.

Ле Руа написал два одинаковых текста повести о поморах на французском и немецком языках. В 1766 г. в Петербурге впервые был опубликован французский вариант рукописи [1], а в 1768-м в Риге—Митаве — немецкий. В том же году книга была переведена на голландский, в 1772 г. — на русский [3], в 1773-м — на итальянский, в 1774-м — на английский язык. В XIX в. история неоднократно пересказывалась на русском языке в популярных журналах: в «Русском вестнике» (1812 и 1818), в «Сыне Отечества» (1822), в «Северной пчеле» (1846), в «Журнале для чтения воспитанникам военно-учебных заведений» (1846) и др. В советское время книга Ле Руа издавалась в 1933, 1955 и 1975 гг.

Как показали исследования, русский перевод книги был выполнен с немецкого издания 1768 г., причем со значительными сокращениями. В русском варианте было опущено послесловие, в котором Ле Руа приводил ответы корреспондентов на его письма, и среди них — ответ члена Петербургской академии наук Х.-Г.Кратценштейна, который установил, что поморы во время зимовки вели правильный счет календарных дней,



Титульный лист первого издания книги П.-Л.Ле Руа на русском языке, вышедшего в Петербурге в 1772 г.

учитывая високосные годы. В предисловии также приводились рассуждения Вернизобера о повести Дефо «Жизнь и удивительные приключения Робинзона Крузо...». Вернизобер, а вслед за ним Ле Руа пытались сопоставить те условия, в которых оказались мезенские поморы и герой Даниэля Дефо. «Англичанин сообщил нам баснословную историю Робинзона Крузо. Но эта история реальная и действительная. События первой разворачивались в жаркой стране, наши же матросы переживали их в глубине Севера, на 77-м с половиной градусе. Англичанин мог приготовить пунш из винограда, произрастающего на его острове. Наши же бедные, несчастные, но твердые духом русские довольствовались водою...». Русский издатель также убрал из послесловия строки о русских староверах, составленные Ле Руа на основании данных «Нового всеобщего словаря для знания государственных дел». Они приводились в повести



Архангелогородская рыбная пристань.

в связи с тем, что спасшие Химкова и его товарищей поморы во главе с Корниловым были староверами. Из русского варианта текста были убраны и комментарии Ле Руа о прохождении фаз Луны, наблюдавшихся в 1569 г. во время зимовки В.Баренца на Новой Земле.

Ко времени выхода книги на русском языке Ле Руа уже покинул Россию, а спустя два года, в 1774 г., он скончался.

В 1970—1980 гг. благодаря исследованиям М.И.Белова, автора предисловия к последнему изданию повести Ле Руа [4], удалось уточнить имена, а также обнаружить некоторые биографические данные четырех мезенских поморов. Согласно переписной книге Архангельской губернии по Мезенскому уезду 1710 г., Федор Андреев Веригин проживал в Окладниковой слободе города Мезень вместе со старшим братом Анисимом Андреевым Веригиным, матерью

Матреной Анастасьевой и сестрой Евдокией. В год поездки на Грумант ему было 44—45 лет. В книге 1722 г. по Кузнецовской слободе города Мезень указана семья Шараповых, членом которой являлся 26-летний Степан Стахеев Шарапов. Согласно ревизской сказке от 20 мая 1762 г. по Кузнецовской слободе, Степан Шарапов скончался в 1757 г.

Долгое время не удавалось найти никаких данных об Алексее и Иване Химковых. Данный факт позволил исследователям поставить под сомнение правильность написания Ле Руа фамилии двух мезенских поморов. В то же время в материалах российской секретной экспедиции под руководством В.Я.Чичагова (1764—1766) был обнаружен список имен известных поморских кормщиков, составленный М.В.Ломоносовым весной 1764 г. для Морской российских флотов комиссии. Среди по-

чих в списке значился «Окладниковой слободки Хрисанф Инков около 45 лет, зимовал 6 лет на Груманте» [2. С.11]. Повторный просмотр переписных книг и ревизских сказок Мезени позволил обнаружить в ревизской сказке 1748 г., включенной в переписную книгу 1762 г., следующий текст:

«В 1749 г., октября в 20 день, прибывшия от морского груманландского промысла, которья на том острове были с 1743-го году от разбития судна, крестьяне и при новой ревизии (1748 г. — Примеч. авторов) показаны погибшими нашей Окладниковой слободки:

Алексей Иванов сын Инков 47 (60) лет;

Хрисанф Прокофьев сын Инков 28 (41) лет» [2. С.12] (возраст указан на 1748 г. и 1762 г. в скобках. — Примеч. авторов).

Дальнейшее изучение архивных документов позволило установить, что Алексей Инков

родился в 1700 г. в Окладниково-вой слободе Мезени. Его отец — Иван Ларионов Инков, в год переписи 1710 г. ему исполнилось 39 лет, мать — Агриппина Кирилловна, в 1710 г. ей было 34 года. Согласно переписной книге 1762 г., Алексей Инков был женат на Марфе, дочери крестьянина Дорофея Личутина из Окладниковой слободы, 34 лет, и имел пятерых детей: сыновей Ивана и Федора и дочерей Устиною, Евдокию и Катерину.

Хрисанф Инков (Крысан по церковной метрике) приходился Алексею двоюродным братом. Он родился в 1721 г. в семье Прокопия Емельяна Инкова, которому в 1719 г. исполнилось 34 года. Согласно переписной книге 1762 г., Хрисанф Инков был женат на Марфе, дочери крестьянина Михаила Замятина из Кузнецовской слободы, 32 лет, и имел двух сыновей: Григория и Ивана. В 1762—1763 гг. на судне Мелехова Хрисанф Инков побывал на Новой Земле и в Обской губе. По данным метрической книги мезенского Богоявленского собора за 1790 г., во время зимовки на Новой Земле сын Хрисанфа Инкова Евдоким Крысанов Инков погиб от цинги в возрасте 14 лет [5].

Алексей и Хрисанф Инковы происходили из коренных жителей города Мезень. Представители семьи Инковых неоднократно плавали на Новую Землю и Шпицберген. В 1673 г. прадед Алексея и Хрисанфа совершил поездку на Новую Землю и торговал моржовым салом в Архангельске. Его сыновья, Трофим и Федор, в 1714 г. по указу Петра I были призваны матросами на Балтийский флот.

Книга Ле Руа «Приключения четырех российских матросов, к острову Ост-Шпицбергену бурю принесенных...», выдержав четыре издания на русском языке, стала уже библиографической редкостью. Рассказывающая о героизме, стойкости и мужестве простых русских поморов, волею случая оказавшихся на необитаемом острове в Арктике, эта книга стала своеобразным памятником их непревзойденному подвигу.

В 1953 г. в издательстве «Молодая гвардия» в серии «Библиотека путешествий» вышла книга К.Бадигина «Путь на Грумант», в основу которой была положена история зимовки четырех мезенских поморов. Год спустя, в 1954 г., на Киностудии им.М.Горького по мотивам это-

го произведения был поставлен художественный фильм «Море студеное».

Открытый русскими поморами по меньшей мере за 100 лет до экспедиции В.Баренца архипелаг Шпицберген, или, как его называли поморы, Грумант, оставался «ничейной землей» до конца Первой мировой войны. 9 февраля 1920 г. в соответствии с решением Парижской конференции на архипелаге был установлен норвежский суверенитет.

Российское присутствие на Шпицбергене в настоящее время ограничивается районами поселков Баренцбург, Грумант и Пирамида. Однако в последние годы отчетливо прослеживается стремление потеснить россиян с архипелага. В печати появляются публикации, приносящие роль и заслуги русских в открытии и освоении архипелага.

На протяжении многих веков Шпицберген был и остается районом активной экономической и научной деятельности государства Российского. Русские мореплаватели, промышленники, ученые вписали немало ярких страниц в историю исследования и освоения. Об одной из них рассказывает эта статья. ■

Литература

1. *Le Roy P.L.* Relation des Aventures Arrivees a Quatre Matelots Russes Jettees par une Tempeste Pres de L'isle Deserte D'Ost-Spitzbergen, sur Laquelle Ils Ont Passe Six Ans et Trois Mois. On y Parle Par Occasion, de Diverses Coutumes Etablies en Russie, et de Choses Qui Ont Rapport a la Religion du Pays. СПб., 1766.
2. *Бадигин К.* Путь на Грумант. Поморская быль. М., 1953.
3. *Ле Руа П.-Л.* Приключения четырех российских матросов, к острову Ост-Шпицбергену бурю принесенных, где они шесть лет и три месяца прожили. Переведено с немецкого. СПб., 1772.
4. *Ле Руа П.-Л.* Приключения четырех российских матросов, к острову Ост-Шпицбергену бурю принесенных. М., 1975.
5. *Минкин А.И.* Неизвестные документы о гибели в 1790 году на Новой Земле тридцати четырех мезенских мореходов // *Летопись Севера.* 1962. Т. III. С. 167—174.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желаящим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
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 15.02.2010
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 70
Набрано и сверстано в редакции

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

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.