

ПРИРОДА

10 10



В НОМЕРЕ:**3 Мазунин И.О., Володько Н.В.**
Митохондрии: жизнь в клетке и ее последствия

Главное, что отличает митохондрии от других клеточных органелл, — это наличие в них собственной ДНК, которая наследуется только по материнской линии. Изучение мутаций в этой ДНК привело к созданию митохондриальной медицины.

15 Веселовский И.С.
Тайны солнечного ветра

Солнце постоянно испускает в окружающее пространство потоки вещества в виде полностью ионизированной водородно-гелиевой плазмы с примесью других ионов. Что известно сегодня о том, как и почему дует солнечный ветер?

24 Журавлев А.Ю.
Досужие размышления о климате и о погоде

Что ожидает человечество? Потепление за счет пополнения атмосферы парниковыми газами или похолодание, периодически случавшееся в истории Земли? Ответы на сей счет расходятся, и спорам не видно конца.

31 Родкин М.В.
Задача: прогноз землетрясений

На примере прогноза землетрясений отрабатываются различные методы предсказания неустойчивости и кризисов, используемые затем в самых разных сферах.

38 Штенгелов Р.С., Филимонова Е.А., Маслов А.А.**Питьевая вода — драгоценное полезное ископаемое**

В результате загрязненности поверхностных вод все большее значение в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения приобретают подземные воды. В России на их долю приходится 45%.

47 Кузнецов А.Н., Мащенко Е.Н.**Большая и малая панды: к чему приводит пищевое пристрастие**

За яркими различиями во внешности этих удивительных животных кроется много сходств в их анатомии, физиологии и экологии, что долгое время мешало выяснению их родственных связей.

Вести из экспедиций**56 Малых С.Е.**
Российская археологическая экспедиция в Гизе**Научные сообщения****64 Батурин Г.Н., Зайцева Л.В.**
Пепловое облако исландского вулкана**69 Мейман Т.**
Лазерная одиссея**О чем писала «Природа»****78 Томсон Г.А.**
План превращения Сахары в море**82 Новости науки**

Телескоп Pan-STARRS полностью введен в строй (82). Графен — теплоотводчик (82). Визуализация структур сквозь непрозрачные слои (82). Снежный покров Северной Евразии (83). Дендрологические исследования якутских наледей (83). Ранние люди расселились далеко на север (84).

Рецензии**85 Сытин А.К.**
Феноменология музейных духов
(на кн.: Г.Ю.Любарский. История Зоологического музея МГУ: идеи, люди, структуры)**88 Новые книги****Встречи с забытым****89 Саватюгин Л.М., Дорожкина М.В.**
Первая российская высокоширотная экспедиция

CONTENTS:

- 3 Mazunin I.O., Volod'ko N.V.**
Mitochondria: Life within a Cell and its Consequences

The main thing distinguishing mitochondria from other cellular organelles is the presence in them of their own DNA, which is inherited only in maternal line. Study of mutations of this DNA has led to creation of mitochondrial medicine.

- 15 Veselovsky I.S.**
Secrets of Solar Wind

Sun permanently emits into surrounding space fluxes of matter in the form of completely ionized hydrogen-helium plasma with an admixture of other ions. What is known now why and how the solar wind blows?

- 24 Zhuravlev A.Yu.**
Idle Thoughts about Climate and Weather

What does future portend to mankind? A warming due to replenishment of atmosphere by greenhouse gases or a cooling, which periodically occurs in the Earth history? The answers to this questions diverge, and there is no end to these disputes in sight.

- 31 Rodkin M.V.**
The Problem: Prediction of Earthquakes

Various methods of study instabilities and crises are developed by the example of earthquakes prediction. These methods were later used in very different fields.

- 38 Shtengelov R.S., Filimonova E.A., Maslov A.A.**
Drinking Water – A Precious Treasure of the Soil

As a result of surface waters pollution underground waters acquire more and more significance in household water supply of population. In Russia their quota comprises 45%.

- 47 Kuznetsov A.N., Mashchenko E.N.**
Greater and Lesser Pandas: Where Does Food Habit Lead

Behind vivid differences in the appearance of these amazing animals lay a lot of similarities in their anatomy, physiology and ecology, which for a long time prevented the elucidation of their relationships.

Notes from Expeditions

- 56 Malykh S.E.**
Russian Archeological Expedition in Giza

Scientific Communications

- 64 Baturin G.N., Zajtzeva L.V.**
Ash Cloud of the Iceland Volcano

- 69 Maiman T.**
Laser Odyssey

What «Priroda» Wrote About

- 78 Tomson G.A.**
A Plan of Transformation of Sahara into a Sea

- 82 Science News**

Telescope Pan-STARS Is Completely Operational (82). Graphen as a Thermal Sink (82). Visualization of Structures through Opaque Layers (82). Snow Cover of the Northern Eurasia (83). Dendrological Studies of Yakut Frazils (83). Early Humans Colonized Far North (84).

Book Reviews

- 85 Sytin A.K.**
Phenomenology of Museum Specters (on book: G.Yu.Lyubarsky. History of MSU Zoological Museum: Ideas, People, Structures)

- 88 New Books**

Encounter With Forgotten

- 89 Savatyugin L.M., Dorozhkina M.V.**
The First Russian High-Latitude Expedition

Митохондрии:

ЖИЗНЬ В КЛЕТКЕ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

И.О.Мазунин, Н.В.Володько

На заре жизни, когда все живые существа были одноклеточными анаэробными гетеротрофами, появилась особая разновидность организмов-клеток. Они могли поглощать кислород, образуя при этом аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ), в химических связях которой заключена энергия. Это было как нельзя кстати, поскольку концентрация кислорода в атмосфере древней Земли начала увеличиваться после появления других организмов-клеток, научившихся использовать для своей жизнедеятельности солнечную энергию, выделяя кислород в качестве побочного продукта. В действительности кислород для организма — яд, поэтому умение его потреблять без трагических для жизни последствий стало преимуществом. Первые организмы, о которых шла речь, породили современные митохондрии, вторые — современные фотосинтезирующие пластиды. Сегодня оба этих типа организмов входят в состав клетки как органеллы, т.е. специализированные отделы с определенными функциями. Как получилось, что свободно живущие клетки, обладающие преимуществом, стали подневольными органеллами, до конца не понятно, однако анализ ДНК позволил выдвинуть так называемую эндосимбиотическую теорию (рис.1). Согласно ей, одни древние клетки поглотили



Илья Олегович Мазунин, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики человека Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. Область научных интересов — молекулярная генетика человека, митохондриальная медицина.



Наталья Викторовна Володько, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Лауреат конкурса «Для женщин в науке» L'Oreal-ЮНЕСКО при поддержке Российской академии наук. Научные интересы связаны с митохондриальной генетикой и эволюцией человека.

другие, но не стали их переваривать. Поглощенные клетки получили постоянное место жительства и стабильные условия существования, однако взамен должны были обеспечивать хозяйскую клетку необходимой энергией. Как считает Л.Маргулис, так возникли эукариотические клетки, а в дальнейшем и многоклеточные организмы. В нашей статье речь пойдет только о митохондриях, их роли в жизни клетки, ее патологических состояниях и, в конце концов, смерти.

Метаболизм митохондрий

Современные митохондрии — клеточные структуры размером от 0.5 до 10 мкм, обычно вытянутой бобовидной формы. От остального содержимого клетки они отделены двумя мембранами, внешней и внутренней, между которыми имеется пространство. Структуру внешней мембраны полностью кодируют ядерные гены, а структуру внутренней определяет также и ДНК самих митохондрий (мтДНК). Внешняя мембрана митохонд-

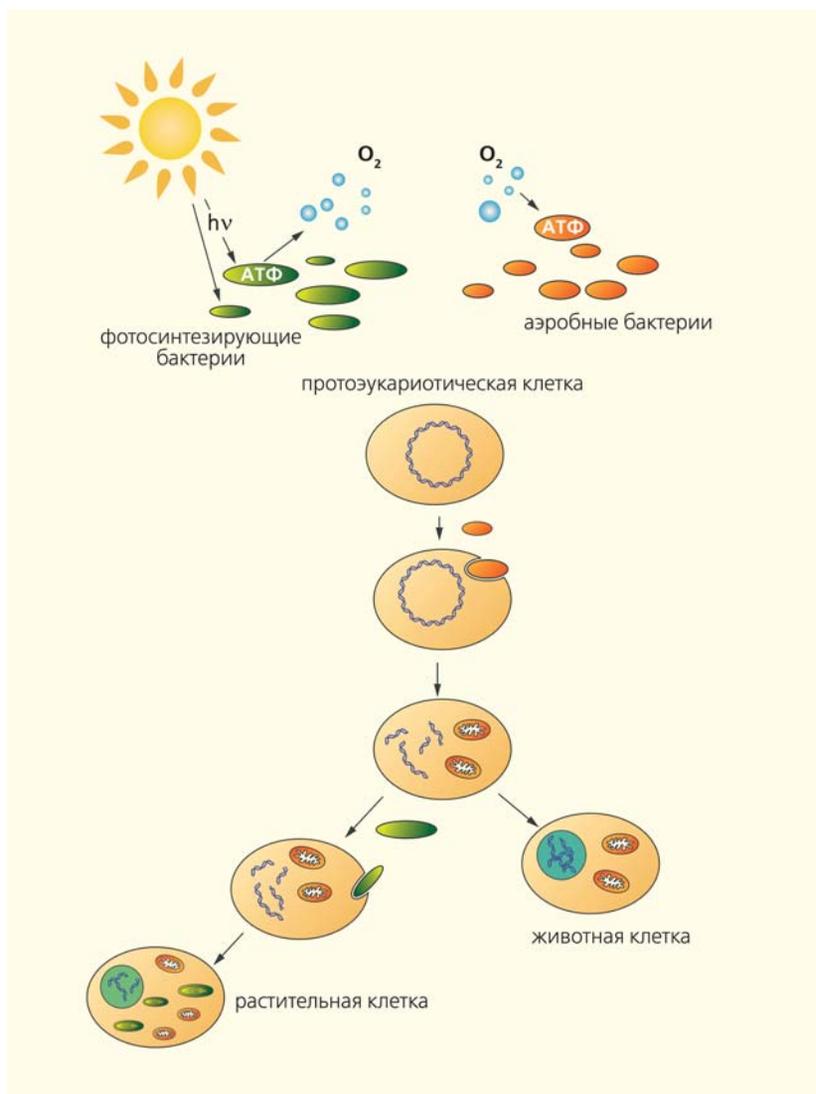


Рис.1. Эндосимбиотическая теория происхождения митохондрий и фотосинтезирующих пластид (по: Margulis L., 1975).

рии гладкая, внутренняя же образует впячивания, называемые кристами. Внутри митохондрий находится матрикс — мелкодисперсное вещество, где располагаются мтДНК, рибосомы, на которых синтезируются белки, а также ферменты некоторых метаболических путей. Количество митохондрий в клетках сильно варьирует: от 1—2 тыс. в клетках печени до 200 тыс. в зрелых яйцеклетках. Митохондрии — очень динамичные структуры: они постоянно перемещаются по клетке в места наибольшего потребления энергии, при этом непрерывно сливаются

и делятся, и, возможно, могут также перемещаться из одной клетки в другую.

Как уже было отмечено, митохондрии содержат свою собственную ДНК (рис.2,а), в которой закодирована информация о структуре основных ферментов дыхательной цепи. После захвата клеткой предковой митохондрии ее ДНК стала перемещаться в ядро хозяина. Постепенно поглощенная клетка теряла свою независимость, так как часть ее структуры уже определялась из ядра. Почему же не вся ДНК перешла в ядро? На этот вопрос пока нет однознач-

ного ответа, но имеется несколько гипотез. Одна из них гласит, что мтДНК сохранила свою независимость, поскольку имеет другой генетический код, т.е. механизм, благодаря которому записанная в ней информация определяет структуру белков. Согласно другой, наличие в митохондриях собственной ДНК объясняется тем, что белки, кодируемые ею, крайне гидрофобны и не могут попасть в митохондрию, если синтезируются в цитоплазме. Третья постулирует необходимость мтДНК для правильной работы комплексов окислительного фосфорилирования.

Весьма оригинальную гипотезу, объясняющую, почему митохондрии сохраняют до сих пор свою собственную ДНК, выдвинул американский биохимик Д.Уоллес. Он предположил, что мтДНК — это своего рода сенсор, необходимый клетке для выживания в меняющихся условиях окружающей среды. Поскольку в мтДНК заложена информация об основных ферментах дыхательной цепи, изменение ее структуры отражается на структуре комплексов этой цепи и, соответственно, на количестве вырабатываемой энергии. Говоря другими словами, отбор тех или иных вариантов соответствующих данным условиям обитания, служит ключевым событием для выживания клетки [1]. Нами, в частности, было достоверно показано действие естественного отбора на регион-специфичный вариант мтДНК (гаплогруппа С), широко распространенный в арктической-субарктической зоне Северо-Восточной Евразии [2].

Основной функцией митохондрий принято считать выработку энергии в виде молекул АТФ, образующихся в ходе окислительного фосфорилирования (рис.2,б). Такой механизм получения митохондрией энергии П.Митчелл предложил еще в 1961 г., назвав его хемиосмотической гипотезой (спустя 17 лет

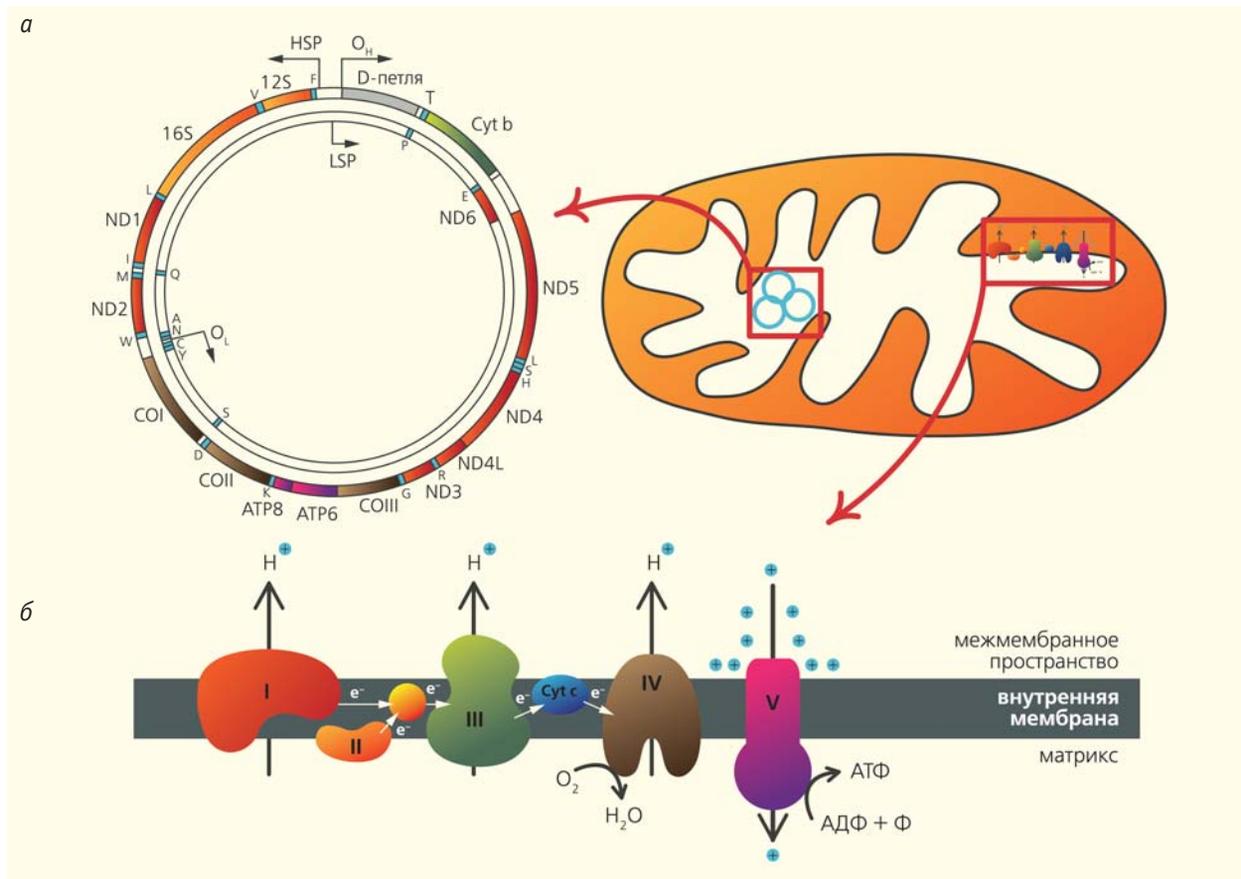


Рис.2. Карта митохондриального генома человека (а) и схема окислительного фосфорилирования (б) (по: *Mitchell P.*, 1961). Геном митохондрий человека содержит 37 генов, из которых 13 кодируют структуру комплексов окислительного фосфорилирования (красным обозначены гены, кодирующие структуру комплекса I, зеленым — комплекса III, коричневым — комплекса IV, фиолетовым — комплекса V), два гена (желтым) — рибосомную РНК, 22 гена (синим) — транспортную РНК, серым показан трехцепочечный участок мтДНК, называющийся D-петлей. Система окислительного фосфорилирования включает пять комплексов и два специфических переносчика электронов, CoQ и Cyt c. По мере движения электронов по дыхательной цепи протоны переносятся из матрикса в межмембранное пространство комплексами I, III и IV, а затем через комплекс V возвращаются в матрикс, за счет чего комплекс V синтезирует АТФ из АДФ и неорганического фосфата.

он получил за нее Нобелевскую премию). Согласно этой гипотезе, специальные ферменты, находящиеся во внутренней мембране митохондрии и образующие дыхательную цепь, переносят электроны от углеводов к кислороду; одновременно некоторые из этих ферментов переносят протоны из матрикса в межмембранное пространство. В результате на внешней стороне внутренней мембраны возникает протонный градиент (повышенная концентрация протонов), который используется АТФазой — специализированным ферментом внутренней мембраны митохондрий. АТФаза

активируется током протонов и синтезирует АТФ из аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) и неорганического фосфата. Однако в ходе реакции окислительного фосфорилирования не все электроны достигают конечной цели (кислорода). Часть из них вырывается за пределы ферментов дыхательной цепи, образуя активные формы кислорода (АФК), такие как супероксид, пероксид водорода, гидроксильный радикал.

Супероксид формируется главным образом в комплексах I и III. Механизм его образования комплексом I изучен плохо, тем не менее А.П.Кудин с коллегами

(2008) в своих работах показали, что он формируется значительно активнее при обратном транспорте электронов от сукцината к НАД⁺, нежели при прямом. Комплекс III в этом отношении изучен значительно лучше. Установлено, что супероксид образуется в двух сайтах комплекса III: сайт Q₀ высвобождает его в межмембранное пространство, а сайт Q₁ — в матрикс (основное количество супероксида выделяется именно сайтом Q₀). Супероксид превращается в пероксид водорода при участии митохондриальной Mn-зависимой супероксиддисмутазы, расположенной в матриксе, ли-

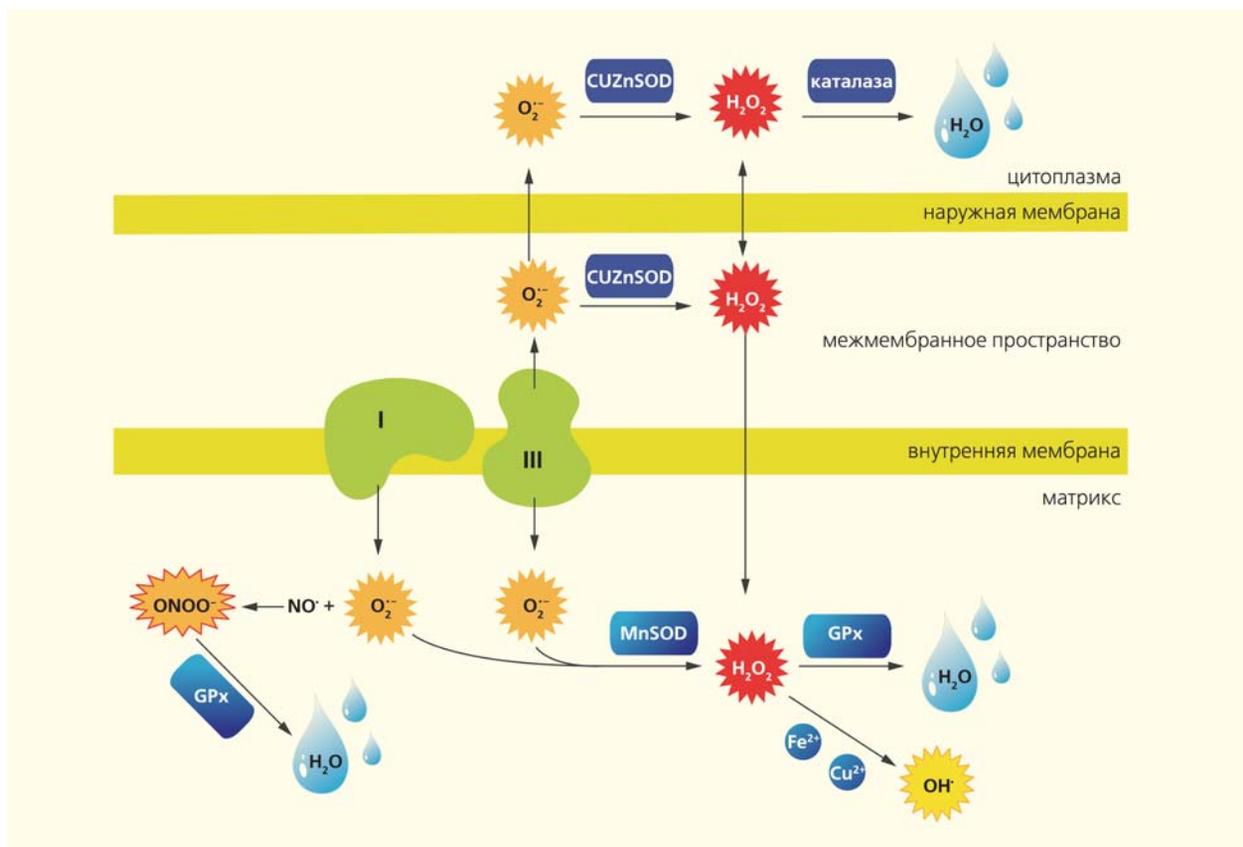


Рис.3. Продукция и обезвреживание АФК в митохондриях (описание в тексте). $O_2^{\cdot-}$ — супероксид, H_2O_2 — пероксид водорода, OH^{\cdot} — гидроксильный радикал, $ONOO^{\cdot}$ — пероксинитрит, H_2O — вода, NO^{\cdot} — оксид азота, MnSOD — Mn-зависимая супероксиддисмутаза, CuZnSOD — Cu-Zn-зависимая супероксиддисмутаза, GPx — глутатионпероксидаза.

бо Cu-Zn-зависимой супероксиддисмутазы, локализованной в межмембранном пространстве митохондрий и цитоплазме клетки. Пероксид водорода, в свою очередь, превращается в воду при участии глутатионпероксидазы в матриксе либо каталазы в цитоплазме. Кроме того, в присутствии ионов Fe^{2+} и Cu^{2+} пероксид водорода может превращаться в гидроксильный радикал. Супероксид может реагировать и с оксидом азота, который образуется эндогенно в митохондриях с помощью митохондриальной NO-синтазы, приводя к образованию пероксинитрита. Установлено, что в формировании активных форм азота принимает участие комплекс IV (рис.3).

Эти крайне реакционноспособные молекулы начинают взаимодействовать со всем, что

попадает на пути, вызывая окислительные повреждения белков, липидов и нуклеиновых кислот. Кроме того, острое воздействие АФК инактивирует Fe-S-центры ферментативных комплексов окислительного фосфорилирования и фермента цикла трикарбоновых кислот аконитазы, что снижает продукцию АТФ. Высокоактивный пероксинитрит нитрирует остатки тирозина окружающих белков, в результате чего повреждаются комплекс I и митохондриальная супероксиддисмутаза. Воздействие активных форм кислорода на мтДНК вызывает накопление мутаций, снижение скорости окислительного фосфорилирования и еще большее накопление АФК. В итоге нарушается функционирование клетки, и она погибает [3].

Компенсация дефектов митохондрий

Оказалось, что слияние и деление митохондрий очень важны для клетки: их нарушение неминуемо приводит ее к гибели. Белки, участвующие в этих процессах, к настоящему времени неплохо описаны. У млекопитающих в делении митохондрий участвуют белки Fis1 и Dlp1, а в слиянии — белки Mfn1 и Mfn2 (во внешней мембране), Opa1 (во внутренней). Но что кроется за такой динамикой и почему эти процессы так необходимы? С делением все вроде понятно, но для чего нужно слияние? По всей видимости, оно необходимо для поддержания достаточного количества энергии в клетке: большие митохондрии с множеством крист, вероятно, дадут

клетке больше энергии. Кроме того, при слиянии дефекты одной митохондрии компенсируются за счет другой, нормальной. Такой процесс называется митохондриальной комплементацией.

В 2001 г. в ходе оригинальных экспериментов, проведенных в лаборатории Дж.И.Хауаши, установили, что после слияния клеток с разными патогенными мутациями мтДНК (одна клеточная линия с мутацией A4269G в тРНК лизина, другая — с мутацией A3243G в тРНК лейцина), в гибридных клетках работа дыхательной цепи митохондрий восстанавливалась. Вообще эти мутации нарушают трансляцию митохондриальных белков, и потому значительно уменьшается выработка энергии в митохондриях. После слияния в митохондриях гибридных клеток наблюдали оба варианта мтДНК. Интересно, что в более ранних работах (1994), выполненных в лаборатории Дж.Аттарди, где также сливали клеточные линии, содержащие патогенные мутации, признаков митохондриальной комплементации не обнаружили. По мнению Аттарди, подобное разногласие вызвано тем, что в его экспериментах клетки одной линии предварительно энуклеировали и гибридная клетка после слияния содержала лишь ядерный геном второй клеточной линии, тогда как в работе Хауаши клетки после слияния имели гибридный ядерный геном. В 2001 г. японские исследователи под руководством К.Накада продемонстрировали тот же эффект на мышиных моделях. Они создали линию *mito-mouse*, в которой мтДНК содержала делецию протяженностью 4696 пар нуклеотидов. Анализируя ткани таких мышей, исследователи не обнаружили в пределах одной клетки сосуществования нормальных и дефектных митохондрий и интерпретировали этот факт как митохондриальную комплементацию.

Однако через четыре года американской команде под руководством Д.Прокоп удалось показать, что митохондрии способны компенсировать свои дефекты без предварительного слияния клеток. Исследователи совместно культивировали клетки с дефектными митохондриями, не способными к самостоятельному росту, и стволовые клетки с нормально функционирующими митохондриями. После изоляции первых клеток и их отдельного культивирования обнаружили трехкратное повышение выработки АТФ, пониженную концентрацию уровня молочной кислоты и активных форм кислорода, но при этом увеличение мембранного потенциала и семикратное потребление кислорода. Согласно молекулярному анализу, в этих клетках присутствовала мтДНК стволовых клеток, а анализ ядерных маркеров не выявил наличия чужеродной ДНК. Полученные результаты авторы интерпретируют весьма осторожно как возможный переход митохондрий из клетки в клетку либо как переход мтДНК одних клеток в митохондрии других (без перемещения всей органеллы). Механизм миграции митохондрий между клетками (если таковой имеется) до сих пор неясен, однако есть предположения о прямом цитоплазматическом транспорте либо о везикулярном. В целом, митохондриальная комплементация, вероятно, необходима для поддержания гомеостаза на внутриклеточном и тканевом уровнях.

Что происходит после слияния — вопрос, который к настоящему времени лишь начинают изучать. Возможно, после слияния митохондрий их ДНК взаимодействуют. Известно, что мтДНК связана с определенными белками и образует с ними комплексы, получившие название нуклеоиды. В зависимости от типа клеток в состав одного такого нуклеоида может входить от 1 до 10 молекул ДНК.

В 2000 г. группа финских ученых под руководством профессора Х.Якобса выдвинула так называемую гипотезу стойких нуклеоидов, согласно которой ДНК разных митохондрий после слияния никогда напрямую не взаимодействуют. Их концепция основывалась на имеющихся к тому времени экспериментальных данных и позволяла отчасти объяснить поведение мутантных мтДНК. Но через четыре года американские ученые во главе с Дж.Манфреди предложили гипотезу динамичных нуклеоидов, согласно которой мтДНК одной митохондрии способны контактировать с мтДНК другой и обмениваться с ней фрагментами (рекомбинировать). Для подтверждения своей гипотезы они слили две клеточные линии: одну с мутацией мтДНК G6930A и другую с делецией 14787-14790. В результате гибридные клетки восстанавливали дыхательную активность, а в их митохондриях присутствовала мтДНК, явно получившаяся в ходе рекомбинации исходных молекул (рис.4).

В 2008 г. другая группа американских исследователей, лидер которой Э.Шон, экспериментально установила, что после слияния митохондрий их ДНК все-таки объединяются в один нуклеоид, но настолько редко, что модель стойких нуклеоидов описывает эффект компрессии более точно. Такой вывод авторы сделали исходя из следующего хитроумного эксперимента: они слили две клеточные линии, мтДНК которых имела делеции 7846-9748 и 10155-15945 соответственно. Популяции этих вариантов мтДНК отличали друг от друга с помощью цветных меток FISH: зеленой, комплементарной участку мтДНК с одной делецией, и красной — с другой. Гибридные клетки светились так, как если бы их митохондрии содержали оба варианта мтДНК, но в составе разных нуклеоидов. Клетки, которые совместно культивировали, но не сливали,

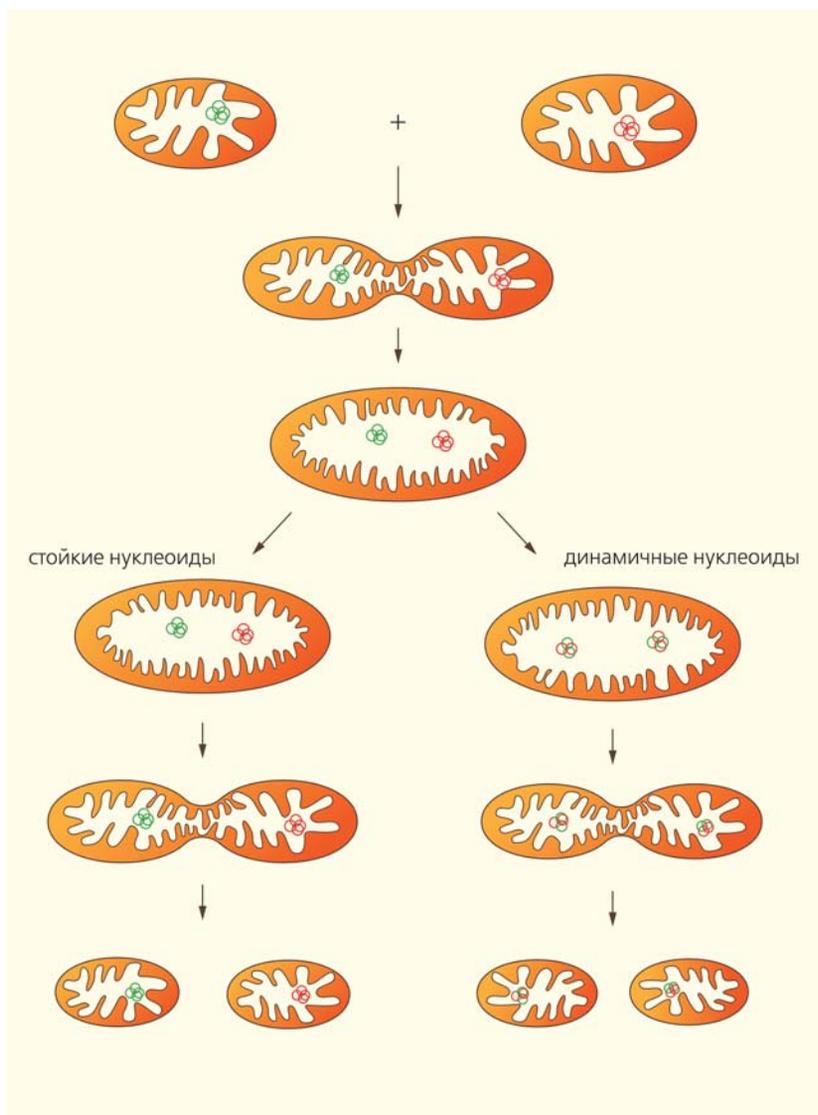


Рис.4. Слияние и деление митохондрий с обозначением двух моделей поведения мтДНК во время этих процессов (по: *Jacobs et al., 2000; D'Aurelio et al., 2004*).

имели разную окраску. После слияния в клетках восстанавливался митохондриальный белковый синтез. Интересно, что лишь на 274-й день эксперимента в гибридных клетках все-таки удалось обнаружить свечение, интерпретируемое как обмен мтДНК между нуклеотидами. Авторы заключили, что митохондриальная комплементация происходит на уровне митохондриальных белков, которые синтезируются независимо с каждого нуклеотида, расположенного в непосредственной близости друг от друга после слияния [4].

Наследование митохондрий

У млекопитающих митохондрии передаются строго по материнской линии, поскольку в сперматозоидах они после оплодотворения уничтожаются. Далее рассматривается судьба только женских митохондрий. Напомним, что в яйцеклетке 150–200 тыс. митохондрий и количество мтДНК колеблется примерно в этом же диапазоне. Отсюда следует, что каждая митохондрия содержит одну-две молекулы мтДНК. В 2003 г. Х.Чен с коллегами по косвенным дан-

ным установили, что на ранних стадиях развития эмбриона слияние митохондрий отсутствует, а это, в свою очередь, препятствует митохондриальной комплементации. Кроме того, наличие лишь одной-двух молекул мтДНК в митохондрии обеспечивает более яркое фенотипическое проявление ее мутаций. Вероятно, это позволяет очистить пул митохондрий от дефектных собратьев, которые узнаются и уничтожаются специальными клеточными структурами — митофагами, играющими в клетке роль мусорщиков. Возможно также, что остановка слияния митохондрий на ранних стадиях развития эмбриона препятствует обмену мтДНК между митохондриями яйцеклетки и сперматозоидов, в которых митохондрии остаются в зиготе после оплодотворения до 8-клеточной стадии. Отсутствие рекомбинации между мтДНК яйцеклетки и сперматозоида, по мнению Уоллес, крайне необходимо для поддержания устойчивого варианта материнской мтДНК, который постоянно подвергается естественному отбору как единая группа сцепления.

Установлено, что, несмотря на множество копий мтДНК в яйцеклетке, уже к следующему поколению они представлены новыми вариантами. Это позволило выдвинуть концепцию прохождения мтДНК через бутылочное горлышко на одной из стадий развития. Действительно, последующие ультраструктурные исследования показали, что до оплодотворения в зрелой яйцеклетке примерно 200 тыс. митохондрий. После оплодотворения в результате серии зиготических делений (но без деления митохондрий) пул последних уменьшается с каждым клеточным делением вдвое. Бластоциста содержит примерно 1 тыс. митохондрий, т.е. около 100 митохондрий на бластомер. После имплантации, в ходе дальнейшей дифференциации клеток, обособляются

первичные половые клетки, гонциты. Эти первые в линии зародышевого пути клетки сначала скапливаются в энтодерме желточного мешка, а затем мигрируют через мезенхиму в зачатки гонад. До миграции каждый гонцит содержит примерно 10 митохондрий. Однако после миграции количество митохондрий увеличивается до 100, затем, в оогониях, до 200, а в примордиальных фолликулах — до 5 тыс. После наступления половой зрелости, в ходе созревания яйцеклетки, количество митохондрий в ней увеличивается до 200 тыс.

Таким образом, митохондрии, которые участвуют в формировании предшественников половых клеток, составляют лишь малую часть (0.01%) от всего изначального пула митохондрий зиготы. Видимо, большее количество митохондрий, характерное для зрелой яйцеклетки, восстанавливается за счет некоторых субпопуляций митохондрий примордиальных фолликул [5]. Однако к единому мнению по этому вопросу исследователи так и не пришли, что порождает дебаты на страницах высокоимпактных научных журналов.

Как уже отмечалось, такое изменение численности митохондрий получило название бутылочного горлышка или генетической воронки (рис.5). Первый термин отражает количественное изменение числа митохондрий при их наследовании. Второй термин, на наш взгляд, более адекватен, так как говорит об уменьшении генетического разнообразия вариантов мтДНК. Это имеет первостепенное значение для качества митохондрий и, следовательно, для здоровья клетки. Существование нескольких независимо мутирующих копий мтДНК в составе одной митохондрии приводит к гетероплазии, т.е. к состоянию, когда в одной митохондрии, клетке или органе сосуществуют несколько вариантов мтДНК (в отличие от гомопла-

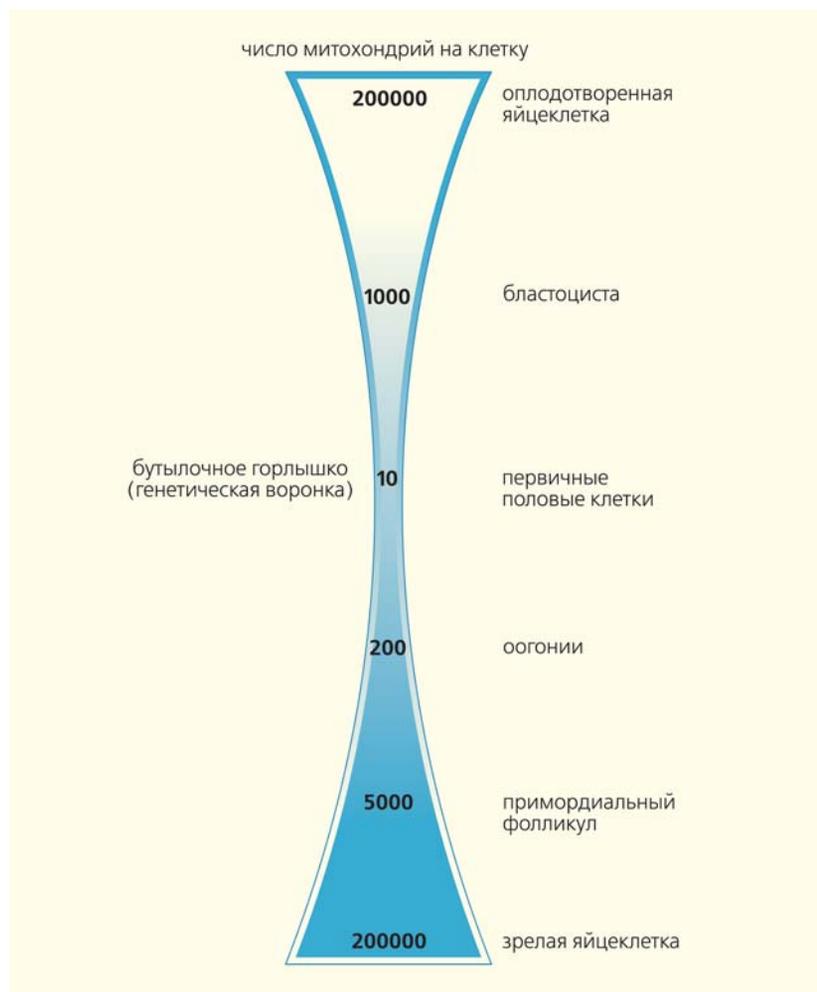


Рис.5. Схема количественного изменения митохондрий в течение развития женских половых клеток у мышей. Число митохондрий показано на каждой стадии развития. Эффект бутылочного горлышка (генетической воронки) наблюдается на стадии формирования первичных половых клеток (адаптировано из: Shoubridge and Wai, 2007).

мии, при которой все мтДНК идентичны). Поскольку в мтДНК закодирована информация о структуре ферментов, участвующих в выработке энергии, то и количество вырабатываемой митохондриями энергии при гетероплазии тоже разное. Из-за резкого уменьшения количества митохондрий (примерно в 20 тыс. раз) в клетке сильно сокращается разнообразие мтДНК, а вместе с механизмом уничтожения дефектных митохондрий это должно обеспечивать передачу следующему поколению только правильно работающих митохондрий.

Митохондрии и здоровье

Итак, мутации в мтДНК могут нарушать выработку энергии и в конечном счете вызывать гибель клетки. Хотя нормально работающие митохондрии (теоретически и экспериментально) способны при слиянии компенсировать дефекты своих собратьев и имеется барьер, препятствующий наследованию дефектных митохондрий, в реальной жизни дефектные митохондрии все же существуют. Более того, они могут накапливаться, что губительно действует на клетку. Подобные нарушения

Таблица 1
Диагностика митохондриальных заболеваний

Методы	Неинвазивные и малоинвазивные методы
Клинические признаки Биохимический анализ	<i>Симптомы, характерные для митохондриальных заболеваний</i>
	<i>Уровень лактата и пирувата в крови и ликворе (>2.1 мМ) Уровень аминокислот в крови, моче и ликворе (аланин ↑(>450 мкМ), пролин ↑, глицин ↑, саркозин ↑) Уровень органических кислот в плазме крови и моче (компоненты цикла трикарбоновых кислот ↑, этилмалоновая кислота ↑, 3-метилглутаконовая кислота ↑, бикарбоновые кислоты ↑) Уровень карнитина в крови и моче (ацилкарнитин ↑)</i>
Томография и спектроскопия	<i>Получение изображения мозга методом ядерного магнитного резонанса (МРТ):</i> — структурные аномалии в глубоких слоях серого вещества, или аналогичные повреждения, которые часто выходят за территорию кровоснабжения; — демиелинизации; — симметричные аномалии белого вещества, главным образом периферического и субкортикального, лейкоэнцефалопатия с двусторонним поражением базальных ганглиев; — мозжечковая атрофия и церебральная кортикальная атрофия
	<i>Компьютерная томография (КТ):</i> — степень кальцификации нервной ткани; — наличие цист и лакун; — демиелинизация; — кровоподтеки; — ишемические поражения
	<i>Протонная магниторезонансная спектроскопия (1H МРС)</i> лактат/креатин ↓, холин/креатин ↑, N-ацетил-L-аспартат/креатин ↓
Биопсия	Инвазивные методы
	<i>Мышечная ткань:</i> — окраска по Гомори на наличие «разорванных красных мышечных волокон»; — определения ферментативной активности комплексов дыхательной цепи митохондрий
	<i>Биопсия кожи</i> Анализ культуры фибробластов и лимфобластов <i>Биопсия сердца и печени (при жестких нозологиях)</i>
Молекулярно-генетические методы	<i>Анализ митохондриальной ДНК:</i> — перестройки мтДНК, точечные мутации — уровень гетероплазии Анализ ядерной ДНК

специализированных клеток различных тканей и органов человека приводят к различным патологическим состояниям.

О том, что нарушения выработки энергии в форме АТФ могут быть причиной некоторых нейромышечных синдромов, известно с 1962 г. Однако причинно-следственную связь между известными заболеваниями и мутациями в мтДНК обнаружили лишь три десятилетия спустя. В настоящее время активно развивается митохондриальная медицина, задача которой заключается в поисках путей лечения больных митохондриальными заболеваниями. Сегодня

установлено, что такие болезни поражают одного из 10 тыс. жителей планеты, но носителей патогенных мутаций мтДНК значительно больше. Кроме того, дефекты митохондрий выявляются при нейродегенеративных состояниях, таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона, Гентингтона и боковой амиотрофический склероз; изменения в мтДНК наблюдаются в раковых клетках, а также при старении организма [6].

При митохондриальных заболеваниях страдают в первую очередь наиболее энергозависимые ткани и органы, т.е. нервная и мышечная ткани, что и от-

ражено в термине «энцефалопатия» (от лат. encephalos — головной мозг, а mysos — мышцы), а также любые органы и ткани. В некоторых случаях сочетание пораженных органов крайне удивительно и труднообъяснимо. Например, при болезни Лебера потеря зрения в некоторых случаях сочетается с нарушением проводимости сердца [7]. Термин «нейродегенеративные заболевания» также подчеркивает тот факт, что в основе патогенеза лежит дегенерация нервной ткани. Нервные клетки погибают «изнутри», в результате апоптоза (программируемой клеточной смерти).

Начинается апоптоз именно в митохондриях, когда они по тем или иным причинам не вырабатывают достаточного количества энергии для поддержания жизнедеятельности клетки.

Несмотря на то, что митохондриальными заболеваниями в первую очередь считают патологии, вызванные мутациями мтДНК, мутации ядерных генов, отвечающих за биогенез митохондрий, могут приводить к таким же наследственным болезням. Для описания первых обычно применяют классификацию, основанную на том, какую область мтДНК затрагивает мута-

ция: область структурных генов и генов рРНК и тРНК, а также рестройки, затрагивающие большие сегменты мтДНК [8]. Дефекты ядерной ДНК значительно разнообразнее: они включают как мутации генов системы окислительного фосфорилирования и аппарата белкового синтеза в митохондриях, так и мутации генов системы импорта/экспорта в митохондрии, их движения, слияния/деления, транскрипции и репликации мтДНК, а также мутации генов различных ферментативных циклов (цикла трикарбоновых кислот, β -окисления жирных кислот)

и других метаболических путей, связанных с функционированием митохондрий [5].

В силу специфики диагностика митохондриальных заболеваний весьма запутана и трудоемка [9], но можно выделить пять блоков, составляющих основные этапы диагностики (табл.1). К основным митохондриальным заболеваниям можно отнести 15 нозологических форм, диагностические критерии которых сегодня четко сформулированы. Выявлены также гены, чаще всего подверженные патогенным мутациям (табл.2). Наблюдаемое разнооб-

Таблица 2
Митохондриальные заболевания и мутантные гены

Митохондриальное заболевание	Английское название и аббревиатура	Мутантные гены	
		мтДНК	ядНК
Митохондриальная кардиомиопатия	Mitochondrial Cardiomyopathy, MC	<i>tRNAs</i>	<i>SCO2, COX-10, COX-15, Tafazzin</i>
Митохондриальная миопатия	Mitochondrial Myopathy, MM	<i>tRNAs, MTCYB, MTND4, MTCO1-3, делеции мтДНК</i>	<i>PUS1</i>
Наследственная нейропатия зрительного нерва Лебера	Leber's Hereditary Optic Neuropathy, LHON	<i>MTND1-6, MTCO3, MTCYB</i>	
Нейросенсорная глухота	Sensorineural Deafness, SNHL	<i>tRNAs, 12S rRNA, MTCO1, MTCO2, MTND5, MTND6, делеции мтДНК</i>	<i>OPA1, DDP1, MTO1, TFB1M</i>
Хроническая прогрессирующая внешняя офтальмоплегия	Chronic Progressive External Ophthalmoplegia, CPEO	<i>tRNAs, делеции мтДНК</i>	<i>POLG, POLG2, ANT1, PEO1, OPA1</i>
Миокланальная эпилепсия с рваными красными мышечными волокнами	Myoclonus Epilepsy and Ragged Red Fibers, MERRF	<i>tRNAs</i>	
Митохондриальная энцефалопатия, лактат-ацидоз, инсультподобные эпизоды	Mitochondrial Encephalopathy, Lactic Acidosis, and Stroke-Like Episodes, MELAS	<i>tRNAs, MTND1, 4-6, MTCYB</i>	
Нейропатия, атаксия, пигментный ретинит	Neuropathy, Ataxia, and Retinitis Pigmentosa, NARP	<i>MTATP6</i>	
Наследуемый по материнской линии синдром Лея	Maternally Inherited Leigh Syndrome, MILS	<i>MTATP6</i>	
Митохондриальная нейро-желудочно-кишечная энцефалопатия	Mitochondrial Neurogastrointestinal Encephalopathy, MNGIE		<i>POLG, ECGF1, RRM2B</i>
Синдром митохондриальной недостаточности	Depletion syndromes, MDS		<i>TK2, RRM2B; DGOUK, POLG1, MPV17; SUCLA2, SUCLG1</i>
Синдром Кернса—Сейра	Kearns-Sayre Syndrome, KSS	Делеции мтДНК	<i>POLG, PEO1, TYMP</i>
Синдром Лея	Leigh Syndrome, LS	<i>MTND1-6, MTCOX3, MTATP6, tRNAs</i>	<i>NDUFS1-4,7,8; NDUFV1, SDH, SURF1, CoQ, PDSS2, PDHc, PDHX1, EFG1, EFTu, LRP130, SUCLA2, BDT</i>
Синдром Пирсона	Pearson Syndrome, PS	Делеции мтДНК	<i>POLG, PEO1, TYMP</i>
Синдром Альперса	Alpers Syndrome, ANS		<i>POLG</i>

разие клинических симптомов митохондриальных заболеваний, вызванных мутациями мтДНК, формируется за счет таких факторов, как гетероплазмия, пороговый эффект и эффект бутылочного горлышка (генетической воронки) [10].

Предполагается, что при делении клеток эмбриона митохондрии расходятся случайно, поэтому гетероплазмия имеет уникальный характер распределения. На основе гипотезы стойкого нуклеоида американские исследователи Э.Шон и Р.Гилкерсон в 2008 г. предложили модель, объясняющую уровень гетероплазмии мтДНК. Модель рассматривает самый простой и наиболее часто встречаемый для патогенных мутаций вариант гетероплазмии, состоящей из мтДНК нормального и дикого типов. Митохондриальные ДНК (мутантная и дикого типа) могут входить в один нуклеоид (гетероплазматический) либо составлять отдельные нуклеоиды (гомоплазматические) в одной митохондрии. Если материнская клетка содержит гетероплазматические нуклеоиды, колебание уровня гетероплазмии дочерних клеток незначительно, но, если в материнской клетке присутствуют гомоплазматические нуклеоиды, уровень гетероплазмии дочерних клеток различается весьма значительно и зависит, как полагают авторы, от отбора и генетического дрейфа.

Установлено, что уровень гетероплазмии в митохондриях при первых трех зиготических делениях (стадия 8-клеточного зародыша) остается постоянным во всех бластомерах. Вероятно, это связано с тем, что клетки до стадии 8-клеточного зародыша тотипотентны и лишь с 16-клеточной стадии зародыша начинается их первая дифференцировка (на клетки трофобласта и клетки зародышевой массы). Можно предположить, что именно тогда включается митохондриальная митотическая сегрегация, т.е. случайное

распределение митохондрий между дочерними клетками. Включение этого процесса, вероятно, происходит на стадии созревания яйцеклетки, поскольку показано, что в яйцеклетке и в полярном тельце уровень гетероплазмии одинаковый. Высказывается также мнение, что митотическая сегрегация является постгаустрюляционным событием [5].

Интересно, что мутации в состоянии гомоплазмии чаще приводят к поражению одного органа, а в состоянии гетероплазмии — к поражению нескольких органов и тканей [11]. Возможно, тканеспецифичное распределение мутации связано с тканеспецифическим составом митохондрий, поскольку установлено, что структура митохондрии отчасти тканеспецифическая, т.е. около половины белкового состава органеллы консервативно (аппарат поддержания мтДНК, комплексы окислительного фосфорилирования, а также ферменты некоторых метаболических путей), в то время как другая половина может меняться в зависимости от типа клеток.

Одно из захватывающих направлений митохондриальной биологии — митохондриальная теория старения, которую предложили еще в 1956 г. К настоящему времени ее не подтвердили и не опровергли, но она обросла новыми фактами как «за», так и «против». Согласно этой теории, начиная с рождения и в течение жизни человека в его мтДНК накапливаются мутации. Вследствие этого митохондрии вырабатывают все меньше и меньше энергии, клетки потихоньку отмирают, а организм дряхлеет. Известно, что основной источник мутаций мтДНК — это активные формы кислорода. Как полагают, уменьшение их количества в митохондриях снижает число вновь образующихся мутаций мтДНК и таким образом продлевает жизнь клеткам, увеличивая тем самым продолжительность жизни организма [12].

Митохондриальная медицина: полоса препятствий

Хотя с каждым днем мы все больше знаем о природе митохондрий, люди продолжают болеть митохондриальными болезнями и вылечить их пока не удается. К настоящему времени врачи перепробовали множество лекарственных средств, но лишь в редких случаях удавалось добиться положительного результата. Исследования в области терапии митохондриальных заболеваний складываются из нескольких направлений: во-первых, медикаментозное лечение, т.е. использование лекарственных препаратов; во-вторых, применение диет и физических упражнений; в-третьих, экспериментальные стратегии, направленные на исправление дефектов митохондрий на молекулярном уровне. В некоторых случаях также применяется хирургическое вмешательство [11].

Поскольку терапия митохондриальных заболеваний в настоящее время находится в зачаточном состоянии, единственный путь борьбы с ними — это предупредить наследование дефектных митохондрий. Для этого существует несколько способов (рис.6). Один из них — использование донорской яйцеклетки: поскольку митохондрии у человека наследуются строго по материнской линии, ребенок, рожденный в результате искусственного оплодотворения такой яйцеклетки, не получит дефектных митохондрий матери. Для выявления патогенных мутаций в мтДНК проводят пренатальную и преимплантационную генетическую диагностику. При пренатальной диагностике (ПНД) на определенной стадии беременности анализируют ДНК ребенка, и при наличии патогенной мутации женщина решает вопрос о прерывании беременности. Преимплантационная генетическая диагностика (ПГД) заключается в следующем: после

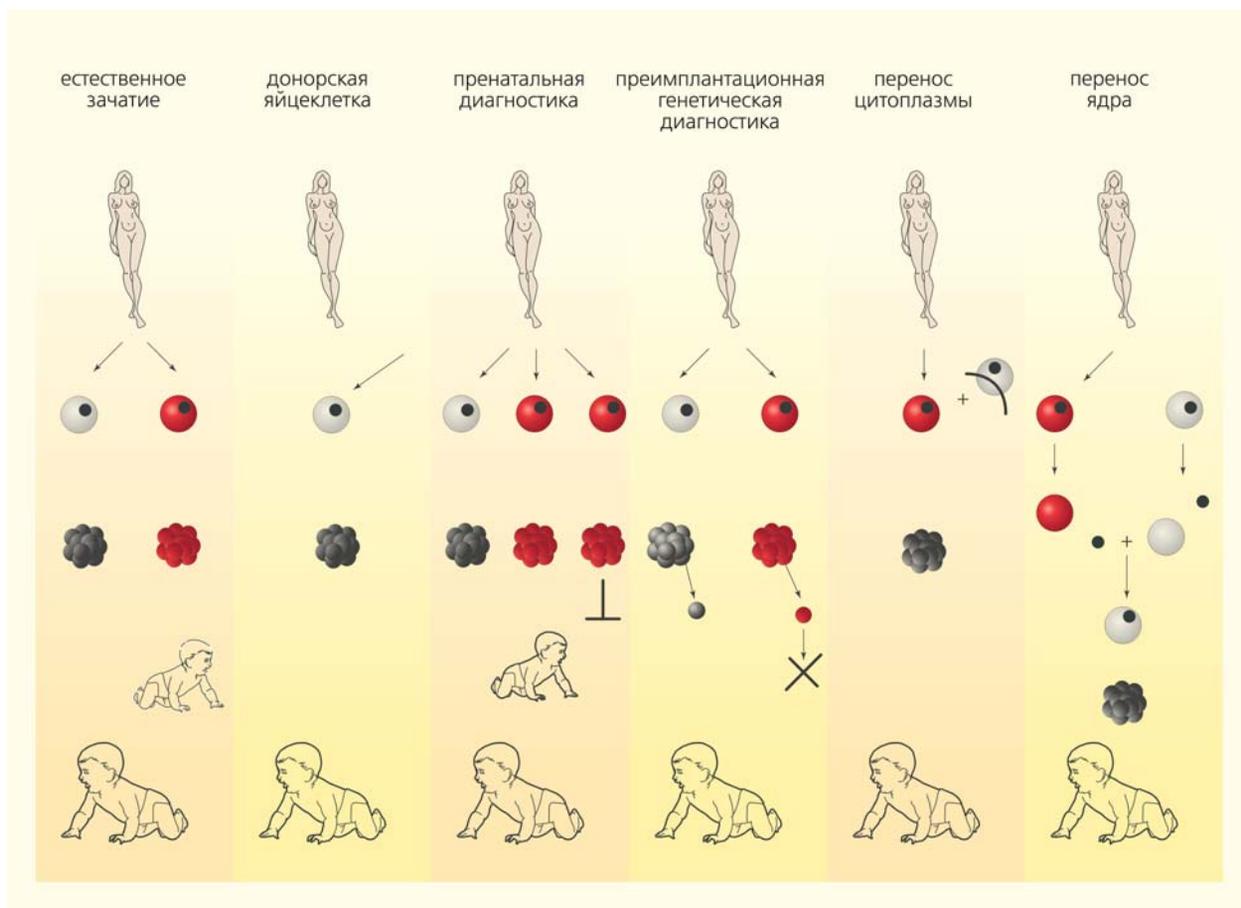


Рис.6. Возможные стратегии предотвращения наследования митохондрий (адаптировано из: *Poulton et al., 2009*).

искусственного оплодотворения у раннего эмбриона отбирают одну или две клетки для проверки ДНК на мутации; затем, если мутаций не обнаружено, эмбрион имплантируют матери. Несомненное преимущество данной процедуры — отсутствие необходимости в прерывании беременности. Полученные в ходе диагностики результаты бывает весьма сложно интерпретировать, если речь идет о мутациях мтДНК в состоянии гетероплазии. Для этого были утверждены критерии, согласно которым достоверно интерпретировать результаты возможно лишь в случае мутаций с высокой степенью корреляции между уровнем гетероплазии и тяжестью заболевания; с равномерным распределением во всех тканях; с уровнем гетероплазии, который не меняется в течение жизни. Это,

в свою очередь, справедливо лишь для мутаций T8993G/C. Для митохондриальных заболеваний, вызванных мутациями ядерной ДНК, таких проблем не возникает.

Следующий путь предотвращения наследования митохондриальной патологии — пересадка цитоплазмы с нормально работающими митохондриями в яйцеклетку с дефектными митохондриями. Такой способ применялся неоднократно, но его запретили из-за увеличения хромосомных аномалий у новорожденных. Последний способ избежать ребенка от наследования митохондриального заболевания — пересадка ядра. Эта стратегия заключается в переносе ядра яйцеклетки с дефектными митохондриями в яйцеклетку с нормальными митохондриями, но без ядра, с после-

дующим искусственным оплодотворением и имплантацией в организм будущей матери. Хотя испытания этого наиболее перспективного способа на приматах уже прошли и дали превосходные результаты [13], сейчас такие процедуры запрещены. Препятствием здесь служит следующее умозаключение: рожденный таким способом ребенок будет иметь, по сути, две генетических матери и одного генетического отца. В норме ребенок получает от матери всю мтДНК и половину ядерной ДНК, вторую же ее половину — от отца. При пересадке ядра ребенок получает мтДНК от другой женщины, и пока неясно, как это в будущем может повлиять на его здоровье на молекулярном уровне и как оформлять при рождении такого ребенка на правовом уровне.

* * *

С момента первой публикации о взаимосвязи между мутацией в ДНК митохондрий и определенной клинической картиной прошло уже 22 года. Однако может показаться, что ситуация становится только мрачнее:

с каждым годом список патогенных мутаций в мтДНК увеличивается, но лечения как не было, так и нет. Вероятно, основная тому причина — недостаточное знание природы митохондриального биогенеза. Тем не менее отчаиваться не стоит, поскольку в мире работают тысячи иссле-

дователей, а также врачей, которые совместными усилиями борются с митохондриальными заболеваниями на всех уровнях: от понимания молекулярных причин дефекта митохондрий до этических и правовых вопросов применения полученных результатов. ■

Литература

1. Wallace D.C. Why Do We Still Have a Maternally Inherited Mitochondrial DNA? Insights from Evolutionary Medicine // *Annu. Rev. Biochem.* 2007. V.76. P.781—821.
2. Ельцов Н.П., Володько Н.В., Стариковская Е.Б., Мазунин И.О., Сужерник Р.И. Роль естественного отбора в эволюции митохондриальных гаплогрупп северо-восточной Евразии // *Генетика.* 2010. Т.46. №9. С.1247—1249.
3. Lenaz G., Genova M.L. Structure and Organization of Mitochondrial Respiratory Complexes: a New Understanding of an Old Subject // *Antioxid. Redox. Signal.* 2010. V.12. P.961—1008.
4. Schon E.A., Gilkerson R.W. Functional Complementation of Mitochondrial DNAs: Mobilizing Mitochondrial Genetics Against Dysfunction // *Biochim. Biophys. Acta.* 2010. V.3. P. 245—249.
5. St. John J.C., Facucho-Oliveira J., Jiang Y. et al. Mitochondrial DNA Transmission, Replication and Inheritance: a Journey from the Gamete Through the Embryo and Into Offspring and Embryonic Stem Cells // *Hum. Reprod. Update.* 2010. doi:10.1093/humupd/dmq002
6. DiMauro S., Schon E.A. Mitochondrial Disorders in the Nervous System // *Annu. Rev. Neurosci.* 2008. V.31. P.91—123.
7. Володько Н.В., Львова М.А., Стариковская Е.Б. и др. Спектр патогенных мутаций мтДНК в семьях больных наследственной нейропатией зрительного нерва Лебера в Сибири // *Генетика.* 2006. Т.42. С.78—87.
8. Мазунин И.О., Володько Н.В., Стариковская Е.Б., Сужерник Р.И. Митохондриальный геном и митохондриальные заболевания человека // *Молекулярная биология.* 2010. Т.44. №5. С.755—772.
9. Иллариошкин С.Н. Алгоритм диагностики митохондриальных энцефаломиопатий // *Атмосфера. Нервные болезни.* 2007. Т.3. С.23—27.
10. McFarland R., Taylor R.W., Turnbull D.M. Mitochondrial Disease — Its Impact, Etiology and Pathology // *Current Topics in Developmental Biology.* 2007. V.77. P.113—155.
11. DiMauro S., Hirano M. Pathogenesis and Treatment of Mitochondrial Disorders // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2009. V.652. P.139—170.
12. Скулачев В.П. Новые данные о биохимическом механизме запрограммированного старения организмов и антиокислительной защите митохондрий // *Биохимия.* 2009. Т.74. С.1718—1721.
13. Tachibana M., Sparman M., Sritanandomchai H. et al. // Mitochondrial Gene Replacement in Primate Offspring and Embryonic Stem Cells // *Nature.* 2009. V.461. P.367—372.

Тайны солнечного ветра



И.С.Веселовский

Наверняка каждый из нас когда-то с увлечением рисовал румяное лучистое Солнце. Наивный детский рисунок правильно передает общее впечатление от того, как «дует Солнце». Однако многие детали картины до сих пор еще не нарисованы, скрыты от наблюдений и не известны не только детям, но и взрослым. Наше светило постоянно «дышит», а иногда «чихает», будто оно живое. А его окружение, в том числе Земля и жизнь на ней, тонко ощущают причудливое дыхание Солнца, иногда замечая его, иногда нет. Это дыхание определяет собой «космическую погоду».

Любопытно, что современное Солнце хорошо «умеет» делать упражнения на «выдох» различной длительности, от часов до многих лет. Похоже, что оно почему-то не может ни на минуту «полностью задержать свое дыхание» или сделать «вдох». Когда-то очень-очень давно все было иначе — юное и растущее Солнце строилось и активно вдыхало в себя межзвездный газ вместе с пылью. Каким было это дыхание, мы можем сейчас только догадываться. Что же мы имеем на сегодняшний день?

Удивительное «дыхание» Солнца

Переходя от образных аналогий к более строгим научным категориям, напомним: вся Солнечная система до расстояний ~ 100 а.е.



Игорь Станиславович Веселовский, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики им.Д.В.Скобелевца МГУ и старший научный сотрудник Института космических исследований РАН. Область научных интересов — физика космической плазмы, процессы в атмосфере Солнца и гелиосфере, солнечный ветер.

от центра заполнена плазмой, непрерывно истекающей из Солнца, — солнечным ветром. Составляют его главным образом протоны и электроны, но встречаются также ионы гелия и высокоионизованные ионы кислорода, кремния, серы, железа и других элементов. Средняя скорость солнечного ветра на орбите Земли составляет около 400 км/с, плотность числа протонов $5-7$ см $^{-3}$, температура $\sim 10^5$ К. Расстояние от Солнца до Земли при такой скорости преодолевается за четыре дня. Более быстрый, разреженный и горячий солнечный ветер с типичной скоростью 700—800 км/с всегда дует из обширных корональных дыр и покрывает это расстояние за меньшее время. Потоки вещества в виде полностью ионизованной водородно-гелиевой плазмы с примесью других ионов постоянно уходят отсюда в межпланетное пространство. Они существуют там месяцами и годами на протяжении многих оборотов Солнца, образуя причудливо изменяю-

щийся спиральный узор наподобие того, что мы видим, когда течет струя воды из вращающегося шланга. Только струи в этом случае гораздо шире. Солнечный ветер и его изменчивость свидетельствуют об отсутствии механического и термодинамического равновесия на Солнце.

Иногда быстрый ветер может возникать и в других местах на Солнце, двигаясь даже с еще большей скоростью и усиливаясь в несколько раз на несколько часов при мощных корональных выбросах массы. Эти возмущения бывают настолько сильными и резкими, что возникают распространяющиеся ударные волны, пробегающие по всей гелиосфере*. До Земли такой удар добежит за сутки, в самых ред-

* Гелиосферой называют область около-солнечного пространства, в которой солнечный ветер движется относительно Солнца со сверхзвуковой скоростью. Иногда при этом подразумевают еще более обширную область, занятую потоками вещества от Солнца, пусть даже они уже сильно затормозились при взаимодействии с межзвездной средой.

ких известных случаях даже за 12 ч, а до границ гелиосферы — за несколько месяцев.

Основным двигателем быстрого ветра, ускоряющим движение плазмы и выбрасывающим ее против силы тяжести в верхней солнечной атмосфере, служат магнитные силы, хотя еще совсем недавно многие исследователи думали, что главную роль играет нагрев короны и газовое давление наподобие процессов в обычном реактивном двигателе. Оказалось, однако, что газовое давление в солнечной короне в целом меньше магнитных натяжений. Сила Ампера при этих условиях ускоряет движение плазмы гораздо эффективнее, чем газодинамическое давление.

Как и почему дует солнечный ветер — один из увлекательных и важных вопросов современной астрофизики и физики космоса. Насколько удалось продвинуться в решении этой задачи?

Загадки без разгадок

О том, что Солнце временами «чихает», люди узнали намного раньше, чем догадались о его постоянном, медленном и плавном «дыхании». До поры до времени этого процесса вообще не замечали или не обращали на него внимания. Самые первые «улики», выдающие присутствие постоянного потока солнечной плазмы, обнаружили Л.Бирман и его коллеги в 1940-х годах при изучении плазменных хвостов комет; тогда же немецкие исследователи пустили в ход словосочетание «солнечный ветер». Сейчас во всем мире ученые думают о том, как устроены «органы дыхания» Солнца и как они работают.

Происхождение медленного солнечного ветра до сих пор не установлено. На орбите Земли его скорость практически никогда не опускается ниже 200—300 км/с, оставаясь выше скорости звука и альвеновской скоро-

сти*, каждая из которых обычно составляет несколько десятков километров в секунду. Не вполне понятен этот нижний предел скорости солнечного ветра и сам факт постоянного существования потока наружу без возвратных течений в гелиосфере. Точно так же неизвестно, когда он вообще возник на эволюционной шкале времени, сменив процесс накопления вещества при формировании нашей звезды на сбрасывание его обратно в межзвездное пространство, и как это произошло. Для нынешнего Солнца потеря массы, обусловленная солнечным ветром, намного меньше потерь его массы покоя вместе с излучением в белом свете. Однако потоки импульса при этом сравнимы. Случайно ли данное совпадение? Есть и другой неясный вопрос: какую роль играют подфотосферные процессы в долговременных изменениях параметров солнечного ветра?

Солнечный ветер сильно изменчив, но наблюдается везде и всюду в гелиосфере как сверхмагнитозвуковой поток вплоть до встречи с каким-либо тормозящим препятствием — будь то планета, комета, астероид или межзвездная среда. Потоки солнечного ветра направлены приблизительно радиально в сторону от нашего светила. Мы уже привыкли к этим основным знаниям о солнечном ветре и представлениям об истечении плазмы, накопленным в основном за космическую эру. Почти за полвека прямых измерений в космосе получена огромная информация о солнечном ветре и хорошо изучены его статистические свойства, созданы различные теории и модели, но до сих пор мы не вполне отдаем себе отчет, почему все обстоит именно так, а не иначе.

Физические представления о солнечном ветре и его измен-

* Альвеновская скорость $V_A = B(4\pi\rho)^{-1/2}$ определяется напряженностью магнитного поля B и плотностью плазмы ρ . Скорость звука $c_s \sim \sqrt{T}$ зависит от температуры плазмы T .

чивости в последнее время заметно расширились и трансформировались [1—3]. Рассмотрим несколько исторических и современных эпизодов борьбы идей в раскрытии тайн природы.

Поиски истины

История исследований в области солнечного ветра и солнечно-земной физики полна забавных курьезов. Первым в мире непосредственным наблюдением плазмы солнечного ветра в межпланетном пространстве ныне признаны данные, которые были получены К.И.Грингаузом с сотрудниками на первых советских ракетах, запущенных к Луне в 1959 г. Известный советский астрофизик И.С.Шкловский, приглашенный Грингаузом для интерпретации этих результатов, в своей книге [4] резко критиковал теоретические представления о перманентном сверхзвуковом расширении солнечной короны, считая их следствием теоретических ошибок. Но заблуждался не он один. Выдающийся английский геофизик С.Чепмен, который ввел в научный обиход термин «геомагнетизм», еще в 20-е годы прошлого столетия правильно понял и впервые рассчитал спиральный узор потоков вещества из вращающегося Солнца, но также настаивал на том, что солнечная корона в целом статична. Придерживались подобных взглядов и другие видные специалисты, которые развивали теоретические модели статической короны и экстраполировали их слишком далеко от Солнца, вплоть до орбиты Земли и далее. Это была серьезная физическая ошибка, которая сдерживала развитие правильных представлений, хотя «истина» была уже известна некоторым не столь маститым ученым.

Научные споры не затихали на протяжении многих лет, в том числе даже и тогда, когда огромное количество фактов

(в первую очередь, наблюдения кометных хвостов, вариаций галактических космических лучей и геомагнитных возмущений, а затем и прямые данные космических измерений в межпланетном пространстве) уже свидетельствовали об обратном, о перманентном и динамическом характере движений во внешней короне и межпланетной плазме, которая служит ее продолжением в виде солнечного ветра. Ученые в основной своей массе поверили в постоянное существование солнечного ветра и в отсутствие покоящегося газа в межпланетном пространстве лишь в начале 1960-х годов — после того, как в течение нескольких месяцев американский космический аппарат «Mariner-2» измерял по пути от Земли к Венере скорость, плотность и температуру плазмы, а также магнитное поле. Переворот в массовом сознании произошел практически мгновенно — через год-другой все вдруг заговорили о «солнечном ветре».

Но и здесь не обошлось без курьеза. В своей первой публикации в престижном физическом журнале американские исследователи заявили, что они зарегистрировали на космическом аппарате «Mariner-2» галактическое магнитное поле. Сейчас мы знаем, что измеренное ими магнитное поле вовсе не галактическое, а создано электрическими токами в гелиосфере и сильно зависит от связи с Солнцем, меняясь с его активностью. Это поле называется межпланетным. В среднем на орбите Земли оно составляет несколько нанотесла. Главный и наиболее мощный гелиосферный электрический ток, создающий это поле, сосредоточен в тонком токовом слое, поверхность которого имеет сложную форму двойной спирали, вращающейся вместе с Солнцем вокруг его оси и обращаемой в перпендикулярном к ней направлении вместе с общим магнитным полем.

Магнитные метаморфозы гелиосферы

На рис.1 представлены кадры из кинофильма, иллюстрирующего общую картину вращения и изменение наклона гелиосферного токового слоя так, как мы ее сейчас представляем. Солнце вместе с наклонным токовым слоем равномерно вращается вокруг своей оси с периодом около 27 дней. «Опрокидывание» дипольного поля на Солнце и всей картины в перпендикулярном направлении происходит за 22 года — это так называемый магнитный цикл Хейла. Процесс переполусовки общего поля идет медленно в годы минимума и низкой активности, когда магнитная ось Солнца близка к оси его вращения. Затем это отклонение увеличивается и меняется все быстрее, магнитная ось сильно флуктуирует, проходя через плоскость солнечного экватора в максимуме активности, и вновь занимает свое более устойчивое положение на несколько лет, но с противоположным направлением поля в следующем минимуме активности. Полный магнитный цикл на Солнце длится 22 года и охватывает два одиннадцатилетних цикла солнечной активности по числам солнечных пятен. Магнитная структура в области формирования солнечного ветра накладывает свой отпе-

чаток в виде квазистационарных и транзитных потоков в гелиосфере. Одни из них преобладают при спокойном Солнце, другие — при активном.

Гелиосферный токовый слой разделяет все околосолнечное пространство на положительные и отрицательные сектора по знаку радиального магнитного поля в них. Он же «упорядочивает и организует» трехмерную картину течения и магнитных полей в невозмущенном состоянии. Электрические токи на этой поверхности текут сначала напоподобие тонкого кольцевого тока вдоль гиперболической спирали, совершающей много оборотов вокруг Солнца, а затем на больших расстояниях за орбитой Земли становятся радиальными. Подчеркнем еще раз, что околосолнечное и межпланетное пространство вовсе не пустое. Высокоскоростные потоки солнечного ветра всегда существуют вокруг магнитных полюсов Солнца, мощность и положение которых меняются вместе с активностью светила, а медленный ветер сосредоточен вблизи магнитного экватора. Благодаря этому мы видим 27-дневную и 11-летнюю периодичность солнечного ветра в гелиосфере, а в 1999 г. при самой последней переполусовке отчетливо наблюдали мощный поток из единственной обширной циркумполярной корональной дыры вокруг одного из маг-

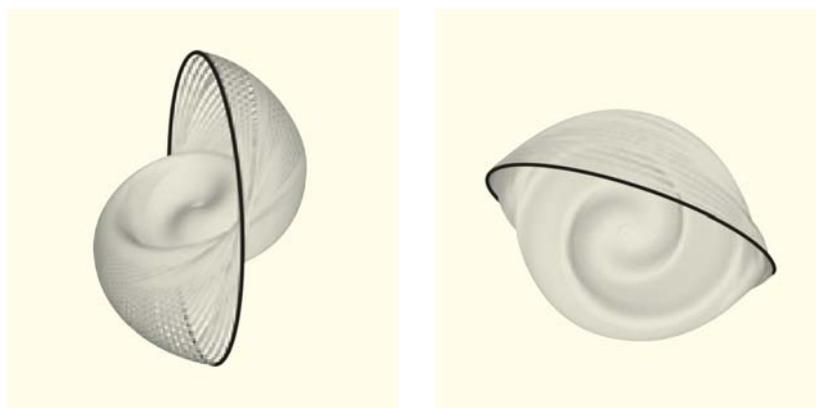


Рис.1. Форма поверхности гелиосферного токового слоя в модели быстрой переполусовки [5]. На левой и правой картинках показаны виды сбоку и сверху, соответственно.

нитных полюсов, который в это время находился в положении около географического экватора. Другой магнитный полюс Солнца вовсе отсутствовал из-за большого квадрупольного момента в это время. Многие в данной картине и трехмерной структуре гелиосферы прояснили измерения, выполненные вне плоскости эклиптики на космическом аппарате «Ulysses». О галактическом же магнитном поле в ближайшем окружении Солнца до сих пор имеются лишь гипотетические и косвенные сведения, хотя измерения на некоторых космических аппаратах производились на огромном расстоянии, порядка сотни астрономических единиц от Солнца. Эти сведения постоянно уточняются при исследовании внешних областей гелиосферы, которые в первую очередь «чувствуют» на себе влияние Галактики.

Отметим попутно еще один интересный исторический парадокс. Магнитосфера Земли*, представление о которой впервые ввели С.Чепмен и Ю.Бартельс в середине 1930-х годов как о транзитном (временном) образовании для объяснения геомагнитных бурь, оказалась, как мы теперь понимаем, перманентным феноменом, как и сами корпускулярные потоки от Солнца. Задумываясь о достижениях и ошибках исследователей, мы можем учиться лучшему пониманию природы явлений и способности не столь остро относиться к смене «непримиримых» парадигм и образов в науке, да и в жизни.

Взрывы и грибовидные облака

С древних времен человек интересовался влиянием Солнца на земные процессы. Сегодня исследователи пытаются познать

* Магнитосфера — полость в корпускулярном потоке от Солнца, проникнуть в которую частицам мешает магнитное поле Земли.

природу быстро движущихся облаков в атмосфере ближайшей к нам звезды. Эти облака возникают при взрывных процессах и могут распространяться в гелиосфере.

Эруптивные процессы при сильных солнечных вспышках и корональных выбросах массы часто сопровождаются уходом вещества в межпланетное пространство. Скорость солнечного ветра при этом может превышать 2 тыс. км/с, поэтому выброшенное вещество вместе с несомыми им довольно сильными магнитными полями долетает от Солнца до Земли иногда за 0.5 сут и производит целый ряд возмущений в околоземном космическом пространстве и на самой поверхности Земли. Наиболее изученные последствия — ионосферные и геомагнитные бури.

Впервые солнечная вспышка была описана в научной литературе после наблюдения уникальных по своей силе событий на Солнце 1 сентября 1859 г., когда ее независимо обнаружили английские наблюдатели Р.Кэррингтон и П.Ходжсон на изображениях Солнца в белом свете. Однако в ту пору еще не было достаточно полных и точных представлений о солнечном ветре, которые сложились лишь спустя столетие. Не вполне понятной была и связь с солнечной вспышкой сильной геомагнитной бури, последовавшей спустя примерно 12 ч после нее. Поэтому английский наблюдатель Кэррингтон в своей заметке тогда лишь очень осторожно заметил по этому поводу: «одна ласточка весны не делает». Известный английский физик лорд Кельвин вообще категорически отвергал возможность существования причинно-следственной связи между событиями на Солнце и геомагнитными бурями. Он основывался на ошибочных оценках и тогдашних представлениях, что вокруг Солнца пустота, а все электрические токи не выходят за его пределы. Сейчас мы знаем, что это не так.

Образование грибовидного облака после сильного взрыва в земной атмосфере — хорошо известное и всесторонне изученное искусственное явление. Нечто похожее происходит и в естественных условиях, когда быстро поднимающееся и растущее грозное облако или облако от вулканического взрыва принимает форму наковальни. Независимо от происхождения облака в атмосфере, такая сплюснутая сверху форма возникает по очень простой причине: из-за его сильного торможения окружающим газом. Сходные явления наблюдаются и на Солнце (рис.2).

Важное отличие состоит в том, что движущие силы таких взрывов на Солнце имеют совсем иную физическую природу, а торможение или ускорение плазменных облаков в движущемся солнечном ветре не столь легко заметить. Это удалось надежно сделать лишь в последние годы. Сложное происхождение данных явлений, их магнитогидродинамическая и кинетическая природа сейчас тщательно изучается. Несомненно, что наиболее мощные взрывы и сильные корональные выбросы массы порождаются процессами уже в самих недрах, т.е. под поверхностью видимого нам Солнца. Поэтому их подготовка и начальное развитие скрыты от прямого наблюдения, проследить их можно лишь методами гелиосейсмологии, которые сейчас успешно развиваются. На поверхности Солнца, в его фотосфере и хромосфере, в переходном слое к короне наблюдаются сложные и разнообразные сопутствующие явления — предвестники. Может быть, мы научимся лучше использовать их для прогноза.

Корональные выбросы массы в поле зрения коронографов или радиогелиографов появляются на некоторой высоте в короне как бы из ничего. Но это лишь иллюзия. Они быстро растут, расширяются во все стороны, их куполообразная или

арочная вершина поднимается в поле зрения коронографов и уносится в межпланетное пространство вместе с потоком солнечного ветра, иногда опережая его, а иногда отставая. Масса такого облака может составлять более 10^{15} г. Скорость движения достигает 1–2 тыс. км/с, а иногда и более, поэтому движение сопровождается ударными волнами и ускорением энергичных частиц. Температура внутри облака неоднородна, некоторые участки его нагреты до корональных температур, измеряемых миллионами градусов, а другие могут содержать в себе также и в 100 раз более холодное и плотное вещество солнечных протуберанцев. Такие холодные «вкрапления» не успевают прогреться и прийти в термодинамическое равновесие при быстром пролете через корональную среду с температурой в миллион градусов. По своему составу это та же плазма, что и в солнечном ветре. Причем гелий, встречающийся чаще других элементов (не считая водорода), может быть ионизован двукратно или однократно, давая прекрасный «термометр» в руки исследователей.

Постоянное наблюдение Солнца в линиях ультрафиолетового излучения и с помощью коронографов в белом свете, базирующихся в космосе, позволило создать огромные архивы кинофильмов и совершенно по-новому осмыслить физические процессы во время солнечных вспышек и корональных выбросов массы. Если ранее шли дискуссии о «первичности» или «вторичности» одного из этих явлений, то сейчас стало ясно, что оба они — лишь два «параллельных» канала для выделения свободной энергии в виде электромагнитного излучения и движений плазмы. Относительная доля одного и другого характеризуется некоторым безразмерным параметром, который может принимать в различных случаях соответственно большие и малые значения. Дру-

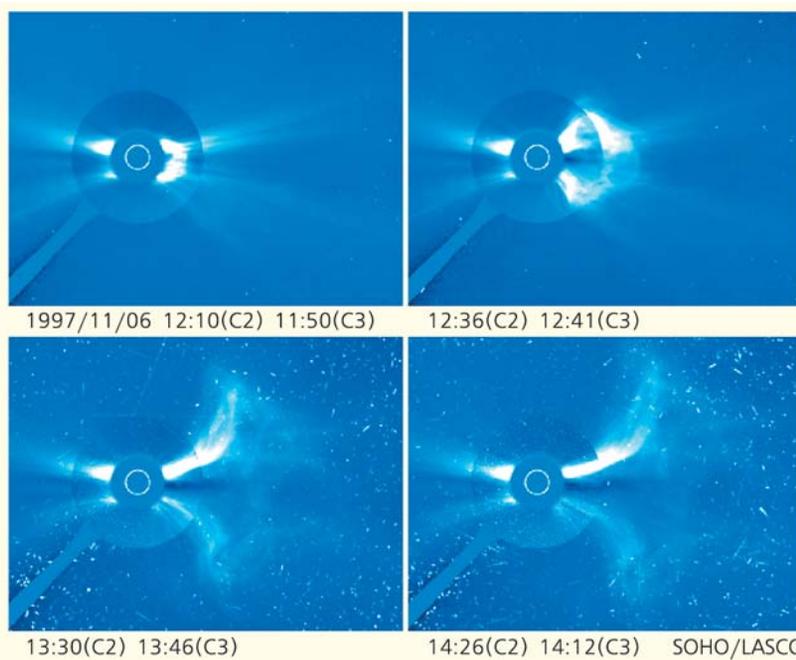


Рис.2. Корональные выбросы массы в виде расширяющихся грибовидных облаков. Кадры из кинофильмов, снятых коронографами LASCO C2 и C3 на космическом аппарате SOHO.

Фото NASA

гой важный вывод состоит в том, что рассмотрение корональных выбросов массы и солнечного ветра в отдельности имеет лишь ограниченный смысл и не всегда оправдано.

Важным достижением стало обнаружение глобальных выбросов вещества, охватывающих в месте своего развития в солнечной короне не только одну активную область, а сразу несколько таких областей, иногда находящихся в разных полушариях, вплоть до всего видимого диска. Так могут выглядеть наиболее мощные и обширные явления на Солнце, охватывающие весь диск (рис.3, сверху слева), по сравнению с более слабыми и компактными (внизу справа).

Стереоскопический взгляд в будущее

25 октября 2006 г. в рамках космической миссии STEREO (NASA) были запущены два космических аппарата с идентичным оборудованием, в том чис-

ле с коронографами и телескопами. Их основная задача — вести с орбиты Земли наблюдения за Солнцем и окружающей его внутренней гелиосферой одновременно из двух разных точек (рис.4).

Примерно так же мы смотрим на мир двумя глазами под разными углами зрения и воссоздаем трехмерный образ окружающего нас объемного пространства. Лучше всего нам это удается сделать для объектов на расстоянии 25 см от нашего носа, а в остальных случаях мы не всегда уверены на 100%, иногда можем ошибаться в своих выводах о геометрической форме рассматриваемых предметов, особенно, если мы с ними не знакомы и ранее никогда не видели. Даже если нам они когда-то встречались, все равно могут возникать ложные иллюзии и картины-«обманки». Кстати, этим приемом умело пользовались некоторые выдающиеся художники средневековья.

В ходе выполнения миссии STEREO впервые были получены

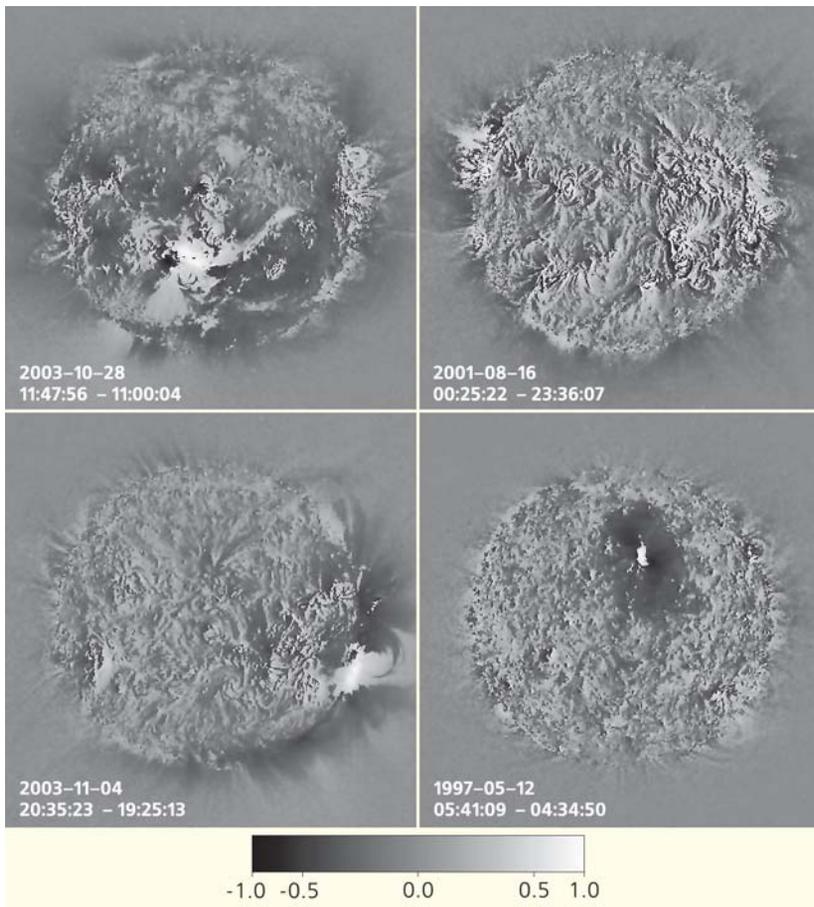


Рис.3. Корональные выбросы массы. Они хорошо видны как темные образования в разностных рентгеновских и ультрафиолетовых изображениях как на лимбе, так и на диске. При мощных событиях они могут иметь глобальный характер, охватывая сразу две-три активных области и больше половины Солнца [6].

стереоскопические изображения и кинофильмы движущихся облаков на Солнце и в солнечном ветре, позволившие уточнить представления об их весьма разнообразной геометрической форме.

Солнечный ветер и корональные выбросы массы нельзя достаточно полно понять в отдельности от других проявлений активности Солнца. Сейчас продолжают успешно работать солнечная и гелиосферная обсерватория SOHO и ряд других космических аппаратов и спутников, созданных для более детального исследования солнечной и гелиосферной активности. Очень интересные результаты в этом отношении дали отечественные искусственные спутники Земли

серии «Коронас». Самый недавний из них был запущен в 2009 г.; он нацелен на детальное исследование наиболее быстро протекающих процессов. Этот год оказался уникальным по своему спокойствию на Солнце и в гелиосфере, что позволило получить ценную научную информацию о самых слабых вспышках (сейчас она обрабатывается). 11 февраля 2010 г. в США выведена на орбиту вокруг Земли новая Динамическая солнечная обсерватория (SDO) с более совершенной аппаратурой для исследования влияния Солнца на Землю и окружающее ее пространство. Сбор новых данных продолжается.

Здесь мы не успели коснуться многих интересных и важных

вопросов. Назовем несколько из них. Прежде всего, почему нынешнее Солнце преимущественно отдает свое вещество, а не получает его из межзвездного газа? «Насосы» и двигатели вещества могли бы работать и в обратную сторону, продолжая закачивать вещество из межзвездной среды на Солнце. Такая возможность не противоречит никаким законам физики. Более того, есть основания полагать, что она реализуется в природе для других звездных объектов.

То, что теория не исключает подобных вариантов, было впервые показано в 1952 г. английским астрофизиком Х.Бонди, развивавшим представления Ф.Хойла об аккреции вещества на звезду типа Солнца. Тогда одно время даже думали, что с их помощью можно будет объяснить нагрев солнечной короны. Действительно, скорость свободного падения на Солнце составляет 617.7 км/с, что вполне достаточно для этого.

Но в реальности вместо падения на Солнце плазма во внешней короне на расстояниях в несколько солнечных радиусов улетает от него примерно с той же скоростью по порядку величины. Особое внимание на возможность сверхзвукового истечения в чисто теоретическом плане обратил молодой американский астрофизик Ю.Паркер в 1957 г. в рамках той же самой математической идеализации, по-видимому, сам не зная того, что он изучал в точности ту же самую политропную модель, что и Бонди. Решения для скорости в обоих случаях отличаются лишь знаком, как в хорошо известном со школы алгебраическом квадратном уравнении. Вопрос, почему надо выбрать решения со знаком плюс или минус, решает физика, природа, а не математика. Неслучайно «физика» и «природа» в греческом языке — однокоренные слова. Так какова же эта природа? Достаточно полного ответа на главный вопрос пока

нет. Ответ могут дать только дальнейшие исследования.

Природа щедра и разнообразна. Не исключено, что одиночные звезды типа Солнца «со знаком плюс или минус» будут обнаружены при наблюдениях доплеровских сдвигов в линиях ионов в ультрафиолетовом диапазоне. Вполне мыслимы и более сложные объекты с переменным знаком скорости над разными участками поверхности или во времени. В настоящее же время пока имеются лишь некоторые первые измерения в крыльях линии Лайман-альфа атомарного водорода, которые предстоит осмыслить и правильно интерпретировать в рамках модельных представлений, не являющихся вполне исчерпывающими и однозначными для всех звезд. Тогда в ответ на ставший уже традиционным для специалистов вопрос, почему дует солнечный ветер, придется вспомнить забытые рассуждения. Не только о необходимых граничных условиях для стационарного истечения — высоком давлении горячего газа в короне и низком давлении холодного разреженного межзвездного газа в ближайшем к нам межзвездном окружении (т.е. о мгновенных значениях), но и о принципиально нестационарной и эволюционно обусловленной природе истечения солнечного ветра.

Перечислим еще несколько проблем, которые ждут своего решения. Каково соотношение между прямыми и обратными каскадами энергии от больших неоднородностей и связанных с ними длительных процессов к мелким и быстрым пространственно-временным событиям на Солнце и в гелиосфере? Как происходит взаимодействие солнечного ветра с межзвездной средой? Какую роль играет закон сохранения углового момента в эволюции солнечного ветра? Как же все-таки греется солнечная корона «в целом» и ускоряется солнечный ветер, такой разнообразный по своим

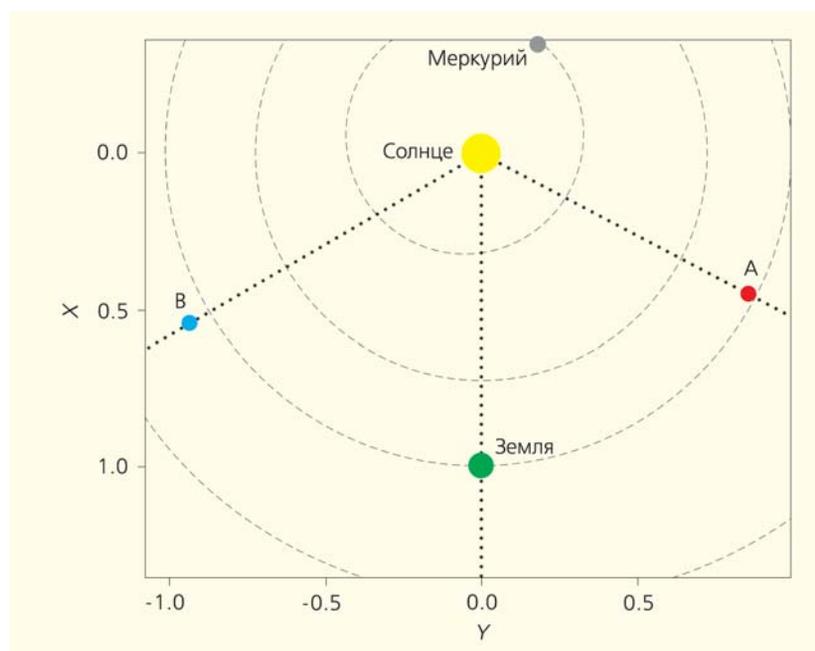


Рис.4. Расположение космических аппаратов STEREO (A, B) относительно Солнца и Земли, каким оно было 25 октября 2009 г., т.е. через три года после их запуска. В дальнейшем угол зрения на Солнце будет продолжать увеличиваться (<http://stereo-ssc.nascom.nasa.gov/where/>). X, Y — оси солнечно-земной эллиптической системы координат.

свойствам? Какие из многочисленных предложенных механизмов нагрева и ускорения плазмы на Солнце являются главными?

Наконец, почему в солнечном ветре за всю многолетнюю историю измерений его состава приборами на космических аппаратах никогда не наблюдалось обогащение гелием выше 30—40% по отношению к протонам при среднем содержании 4—5%? Что препятствует этому? По-видимому, этот факт указывает на некоторое регулирующее действие и преобладание процессов турбулентного перемешивания над процессами электромагнитной, диффузионной и гравитационной сепарации по составу. Необходимость построения новых, более адекватных моделей формирования солнечного ветра и его ионного состава в турбосфере вокруг Солнца сейчас очевидна. Не менее очевидна и потребность в дополнительных экспериментальных данных.

Ближе к Солнцу

Мечта послать космический зонд в корону Солнца для исследования происходящих там физических процессов была высказана более 40 лет назад. Рассматривалось несколько вариантов для облета по полярной, наклонной или экваториальной орбите вокруг Солнца на расстояниях хотя бы до 10 солнечных радиусов. Это позволило бы приблизиться к разгадке многих тайн, что были упомянуты парой абзацев выше, а также впервые выполнить многие другие интересные исследования вблизи нашей звезды (на расстоянии 4 солнечных радиусов все материалы превратились бы в пар). Такой престижный, но технически очень сложный и дорогостоящий проект до сих пор не был осуществлен. В настоящее время в NASA он известен под названием «Solar Probe Plus». Для него сейчас выбрана схема многократных, но кратковремен-

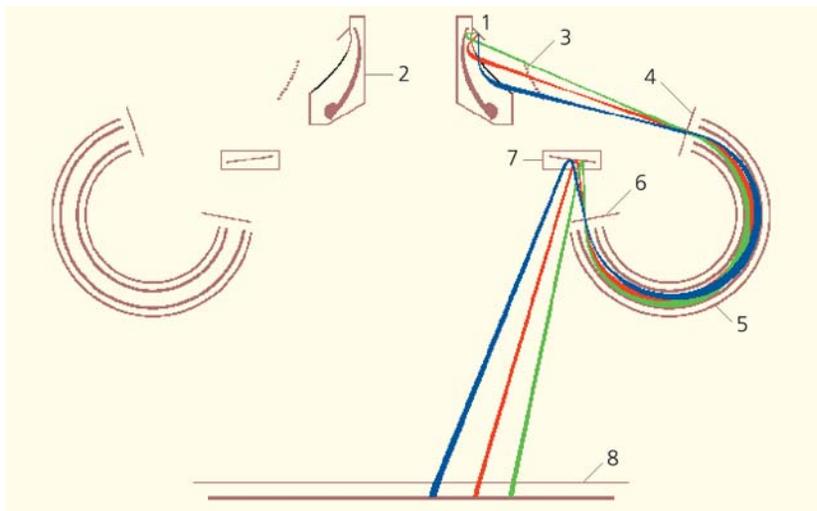


Рис.5. Принципиальная схема тороидального электростатического анализатора ионов: 1 — входное окно ионного анализатора, 2 — первичное зеркало, 3 — ворота, 4 — диафрагма, 5 — ионный электростатический анализатор, 6 — диафрагма, 7 — зеркало, 8 — детектор ионов (микроканальная пластина). Цветами показаны траектории трех пучков ионов, входящих в прибор под разными полярными углами: 0° (зеленый), 45° (красный) и 90° (синий). Ширина энергетического интервала ионов ~10%.

ных сближений с Солнцем по сложной траектории полета с последовательными разворотами около Венеры в течение нескольких лет. Ключевым для успеха миссии будет выбор надежной аппаратуры с надлежащими характеристиками. Одна из важнейших в данном слу-

чае — быстрота проведения измерений, поскольку наиболее интересные участки сближения занимают всего лишь десятки часов из-за огромной скорости движения аппарата вблизи Солнца. Если измерительный прибор будет работать медленно, то все смажется.

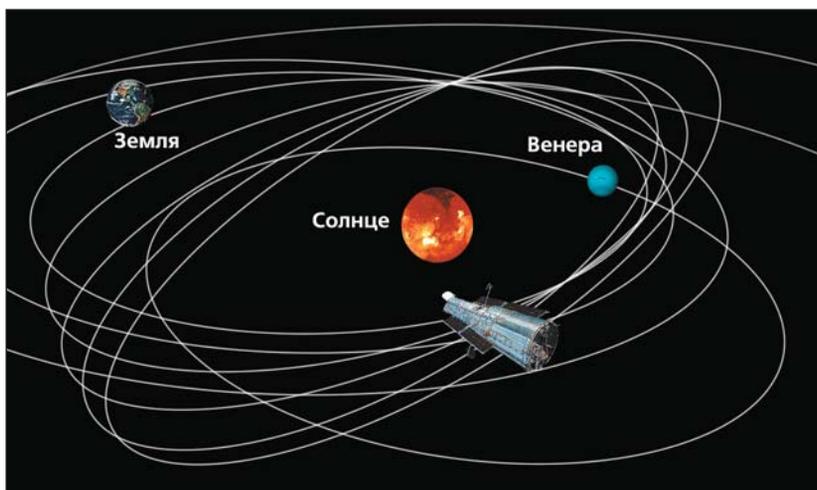


Рис.6. Российский проект «Интергелиозонд». Аппарат будет двигаться вокруг Солнца, испытывая множественные гравитационные развороты при сближении с Венерой для выхода из плоскости эклиптики и постепенного увеличения наклона орбиты. Максимальное сближение с Солнцем вплоть до гелиосинхронной зоны около 30 солнечных радиусов.

Российские ученые и инженеры могли бы внести заметный вклад в реализацию этого проекта, основываясь на своем богатом опыте теоретических и практических работ. В Институте космических исследований РАН имеются разработки по проведению надежных и быстрых плазменных измерений в космосе и достигнуты успехи в их осуществлении. Под руководством профессора О.Л.Вайсберга был создан прототип электростатического анализатора ионов, пригодный в данном случае (рис.5). Наиболее привлекательная и оригинальная особенность, отличающая его конструкцию от зарубежных аналогов, — возможность одновременного панорамного обзора потока частиц плазмы с различными энергиями в широком телесном угле, а не более медленное сканирование путем переключений.

Планируются и разрабатываются другие интересные проекты, связанные с проникновением ближе к Солнцу для исследования тех участков внутренней гелиосферы, где еще не бывали космические аппараты. В России это «Интергелиозонд» (руководители проекта академик Л.М.Зеленый, ИКИ РАН и доктор физико-математических наук В.Д.Кузнецов, ИЗМИРАН) (рис.6), в Европе — «Solar Orbiter», есть и некоторые другие. Эти проекты менее дороги, но также могут дать по-своему уникальные сведения благодаря наклону орбиты, иному составу аппаратуры и более благоприятным условиям для работы, поскольку речь идет об областях, не столь близких к Солнцу, как в случае «Solar Probe», а лишь в районе гелиосинхронной зоны (около 30 солнечных радиусов). Пока же наиболее близкие к Солнцу участки гелиосферы посещались специально созданными для этого двумя европейскими космическими аппаратами «Helios» в середине 70-х годов только до расстояний ~0.3 а.е. (около 60 радиусов Солнца) [1].

Мир внутри гелиосинхронного пояса

Гелиосинхронный пояс представляет собой сферическую оболочку вокруг Солнца, расположенную на расстоянии около 30 его радиусов, толщиной несколько радиусов. Здесь и еще ближе к Солнцу находится очень интересная область, о которой мы пока знаем не так много, как хотелось бы и как этого требует должное понимание солнечно-земной физики. Космические тела, движущиеся по круговой орбите вокруг Солнца внутри гелиосинхронного пояса, могут подолгу «зависать» над одной и той же точкой солнечной поверхности. Это явление аналогично так называемому геосинхронному движению. Оно умело используется на Земле. Спутник Земли, находящийся на расстоянии около 36 тыс. км, вращается вместе с ней с одной угловой скоростью и видит под собой (или его «видят») одни и те же участки на поверхности планеты. Геосинхронная орбита сейчас плотно населена спутниками связи, ретранслирующими программы телевидения в определенные регионы и т.п.

Гелиосинхронное движение по круговой орбите также заманчиво использовать для длительного и непрерывного наблюдения за одними и теми же объектами на Солнце. Это было бы очень интересно и полезно для исследования рождения и эволюции активных областей,

корональных дыр, протуберанцев, различных волн и движений. Нуждается в таких наблюдениях и гелиосейсмология. Пока ученые лишены такой возможности. Реализовать подобную схему в полной мере не удастся из-за больших технических сложностей, но приблизиться к желаемому будет можно.

Одно из отличий Солнца от Земли состоит в том, что оно не твердое, а газообразное. Экваториальные участки поверхности вращаются вокруг оси Солнца быстрее, чем полярные. Один оборот занимает на экваторе около 25 дней, а на высоких гелиоширотах он на несколько дней дольше. Поэтому речь идет о гелиосинхронном поясе, а не об одной орбите, как в случае твердой Земли.

При выходе космического аппарата из гелиосинхронного пояса может произойти очень интересное явление: двойное пересечение одного и того же коронального луча, вращающегося совместно с Солнцем. Сначала аппарат «догонит» и пересечет этот луч на малых расстояниях от Солнца внутри зоны, а затем сам вращающийся луч «догонит» аппарат и произойдет повторное пересечение, — вне зоны и в обратном направлении. Возможно, таким способом удастся «дважды войти в одну воду» и проследить за радиальными движениями и другими изменениями плазмы в пространстве и во времени.

Не исключено, что радиальные лучи, тянущиеся в короне

от Солнца и видимые на коронаграфических изображениях, теряют свою целостность именно в гелиосинхронном поясе, а может быть, где-то за его пределами — из-за совместного действия вращения, магнитных сил и других факторов. Сейчас мы этого не знаем, так же, как не знаем, откуда берутся резкие скачки плотности в солнечном ветре на орбите Земли. То ли они идут от самого Солнца, то ли возникают где-то по дороге. Эти вопросы стали особенно актуальными после измерений на ИСЗ «Интербол». Толщина наблюдаемых плазменных фронтов оказалась очень маленькой и соизмеримой с ларморовским радиусом ионов, лишь в несколько раз превосходя его. На орбите Земли ларморовский радиус теплового движения протонов в солнечном ветре составляет несколько десятков километров. Чтобы подробно исследовать такие мелкие детали, понадобились очень быстрые плазменные измерения с рекордной скоростью. В короне Солнца эти масштабы значительно меньше из-за более высокой напряженности магнитного поля.

Когда реализуются готовящиеся ныне космические миссии, мы наверняка получим новые открытия и теории. Более подробно о современных достижениях и проблемах в исследовании солнечного ветра можно узнать из книг [2, 3] и огромного количества текущих научных публикаций и сообщений. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 07-02-00147, 09-02-11510.

Литература

1. Physics of the Inner Heliosphere. 1. Large Scale Phenomena. 2. Particles, Waves and Turbulence / Eds R.Schwenn, E.Marsch. Berlin, 1990, 1991.
2. Плазменная гелиогеофизика. Т.1, 2 / Под ред. Л.М.Зеленого и И.С.Веселовского. М., 2008.
3. Модель космоса: Научно-информационное издание. Т.1: Физические условия в космическом пространстве / Под ред. М.И.Панасюка и Л.С.Новикова. М., 2007.
4. Шкловский И.С. Физика солнечной короны. М., 1962.
5. Веселовский И.С., Жуков А.Н., Панасенко О.А. // Астрономический вестник. 2002. Т.36. №1. С.88—92.
6. Zbukov A.N., Veselovsky I.S. // Astrophysical Journal. 2007. V.664. №2. P.L131—L134.

Досужие размышления о климате и о погоде

А.Ю.Журавлев

В электричках попутчики чаще всего рассуждают о погоде, а в научной среде обычно говорят о климате. В этих спорах много общего, например достоверность сведений. Иногда физики заявляют, что с позиций высокой теоретической науки все уже давно ясно, а потому глобальное потепление — это неизбежность, данная нам в ощущении. Хотелось бы, конечно, увидеть хоть одну не вызывающую сомнений физическую модель, которая объясняла бы раннеэдиакарский ледниковый период (около 635 млн лет назад), когда материковые льды сползали почти до самого экватора [1]. Или была бы предложена какая-нибудь модель позднеордовикского периода (примерно 444 млн лет назад), когда глобальное оледенение случилось по геологическим меркам в одночасье и, возможно, при весьма высоком уровне углекислого газа в атмосфере [2]. Ряд исследователей считает, что на ранних этапах истории Земли (в архее), когда нарождающаяся жизнь особенно нуждалась в тепле, а Солнце еще не могло ее обогреть, утеплителем был метан, а вовсе не двуокись углерода. Именно под метановой атмосферой процветали метанокисляющие бактерии, оставившие многочисленные следы в изотопной и молекулярной летописи планеты.

© Журавлев А.Ю., 2010

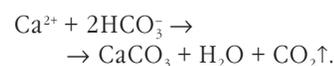


Андрей Юрьевич Журавлев, доктор биологических наук, специалист в области палеонтологии кембрия. Сотрудничает с Университетом Сарагосы (Испания). Монографии: «The Ecology of the Cambrian Radiation» (в соавторстве с Р.Пайдингом; N.Y., 2000), «Atlas of the Evolving Earth» (Detroit, 2001), «До и после динозавров» (М., 2006). Постоянный автор «Природы».

Внимание — газы!

Большинство ученых полагает, что по меньшей мере с протерозоя (т.е. 2.5 млрд лет назад и позднее) основным атмосферным газом, определяющим температуру на поверхности нашей планеты, был углекислый. Правда, что именно и как влияло на содержание двуокиси углерода в атмосфере (а также гидросфере и литосфере) остается загадкой, по крайней мере для думающих специалистов. Для недумающих — все очень просто: хорошо поглощают углекислый газ рифовые экосистемы. Действительно, в них сосредоточены (и ежегодно увеличиваются на 900 млн т) огромные запасы карбоната кальция [3]. Соблазнительно допустить, как многие и делают, что на образование всех разновидностей этого минерала уходит атмосферная двуокись углерода. Однако реакция процесса

обызвествления кораллов, губок, водорослей, простейших, обеспечивающего рост и расширение рифов, выявляет как раз обратное:



К тому же процесс этот отнюдь не равновесный, а протекает с явным сдвигом в сторону образования CO_2 , в результате чего рифы поставляют в атмосферу до 245 млн т углекислоты в год [3]. По этому показателю среди текущих *нечеловеческих* процессов они уступают только наземным вулканам (в среднем около 300 млн т в год, что, кстати, составляет всего 1% от выделяемого в год человечеством) [4].

Идея о связи содержания углекислого газа в атмосфере Земли с ее температурой и процессами на поверхности родилась в 1899 г. Тогда английский геолог Т.Чамберлин предположил, что этот газ расходуется на вы-

ветривание горных пород, вступающая главным образом в реакцию с содержащимися в них силикатными минералами. Значит, в эпохи интенсивного горообразования, когда в контакт с атмосферой вступают значительные объемы «свежих» силикатных минералов, могут происходить резкое падение уровня атмосферной двуокиси углерода и столь же быстрое похолодание. К этой гипотезе возвращались неоднократно: ведь, действительно, многим периодам похолодания и оледенения в истории Земли предшествовали эпохи горообразования. Но добыть более-менее обоснованные доказательства ее смогли лишь в 1990-е годы. К тому времени по изотопной летописи научились «привязывать» к определенному интервалу столь длительные события, как рост гор и интенсивность этого явления. Оказалось, что одновременное возвышение мощных горных систем, таких как Альпийско-Гималайский пояс и Анды, произошло в кайнозойскую эру, особенно интенсивно протекало с миоценовой эпохи (около 20 млн лет назад). Именно в то время началось наступление последней ледниковой эпохи [5]. Примечательно, что по мере усиления горообразовательных процессов возрастала и степень химического выветривания силикатных минералов. Казалось бы, загадка великих оледенений наконец решена...

Однако тут же последовало «разоблачение»: ведь горообразование связано с существенным нагревом пород, ведущим к выделению в атмосферу углекислого газа, причем в огромном количестве. Так что вздымание Гималаев должно было бы привести к повышению наземной температуры на 0.5°C, в то время как поглощение CO₂ — к понижению на 0.2°C [6]. В итоге получается дополнительный прирост в +0.3°C, что никак не вяжется с глобальным похолоданием. Тем не менее Янцзы, Ганг с Брахмапутрой и Амазонка —

реки, берущие свое начало именно в Тибете, Гималаях и Андах, — выносят в океан больше 20% карбонатных растворов, образовавшихся при химическом выветривании. Значит, поглощение «излишков» углекислого газа в этих регионах все-таки происходит. Но как? Как можно ускорить химическое выветривание, если площадь обнажившихся горных пород даже во время столь стремительных (в геологическом смысле) процессов, как горообразование, прирастет очень незначительно? Оказалось, можно, пока на планете существует жизнь. Биосфера и без человека всегда вмешивается во все происходящие на Земле события. Но об этом — чуть позже.

Климат планеты зависит от множества процессов, включая:

- потоки галактической космической радиации;

- определенные стадии орбитальных циклов (задающих время потеплений и оледенений, но отнюдь не их интенсивность);

- положение континентов и их площадь, доступная выветриванию;

- характер океанических течений;

- особенности горообразовательных процессов и вулканизма;

- типы наземной растительности и облачного покрова;

- наличие тех или иных групп планктона, активность организмов деструкторов;

- таяние метангидратов...

Список можно продолжать и продолжать. Например, американский биолог Ф.Смит не исключает, что вина человечества имеет давнюю историю и восходит к уничтожению мамонтовой фауны, которая благодаря особенностям своего пищеварения существенно влияла на уровень метана в атмосфере [7]. (Правда, тогда с исчезновением мамонтов и прочих мохнатых гигантов должно бы начаться похолодание, а совсем не то, что началось. Может, наоборот, узнав о грядущем потеплении, мамонты с ис-

пугу усилили метановую эмиссию; вот и потеплело? Пусть физики посчитают.) А Лепешинская наших дней — И.В.Ермакова — заявляет, что во всем, включая климатические катаклизмы, виноваты генетически модифицированные организмы...

Конечно, сейчас в перечне факторов, влияющих на климат, есть место и человеческой деятельности. Вопрос только в том — предпоследнее оно или последнее? Ведь если органический мир океана отдаст всего 2% своих запасов углерода, содержание углекислого газа в атмосфере удвоится [8]. Что при этом произойдет? Зная историю Земли, можно представить.

Кальцит арагониту — не товарищ

Еще 20 лет назад из учебников, в том числе университетских, можно было узнать, что средний химический состав вод Мирового океана отличается завидным постоянством вот уже 2 млрд лет. Однако американский седиментолог Ф.Сэндберг показал, что по крайней мере в отношении двух таких важных ионов, как Ca²⁺ и Mg²⁺, это утверждение не вполне верно [9]. Сэндберг изучил распределение в ископаемой летописи нескольких разновидностей карбоната кальция, а именно — стабильного низкомагнезиального (≤4 мол.% Mg) кальцита, высокомагнезиального кальцита (>4 мол.% Mg) и арагонита. И седиментолог заметил, что в течение последних 500 млн лет временные интервалы, когда преобладал более стабильный кальцит, чередовались с теми, когда образовывались две менее стабильные формы карбоната кальция. Первые он назвал «арагонитподавляющими», а вторые — «арагонитблагоприятствующими». Ныне эти два состояния Мирового океана именуют просто «кальцитовыми» и «арагонитовыми» морями. В «арагонитовых» морях преобладают животные и водоросли



Первичный арагонитовый морской цемент, замещенный кальцитом. Нижний кембрий (525 млн лет). Монголия. Масштаб 1 см.

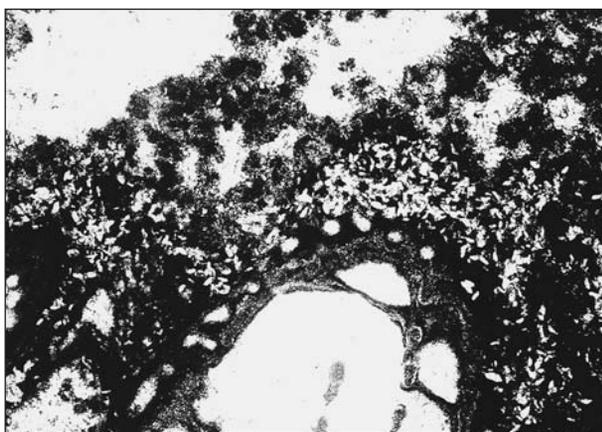
со скелетами из кристаллов арагонита или высокомагнезиального кальцита, в «кальцитовых» — доля таких организмов снижается. Та же картина характерна для двух главных типов морских карбонатных образований, которые формируются при участии бактерий или хемогенным путем. Это — оолитовые пески (состоящие из мелких известковых шариков) и первичные морские цементы (известковые

оторочки, заполняющие полости в рифах или в уже затвердевшем осадке).

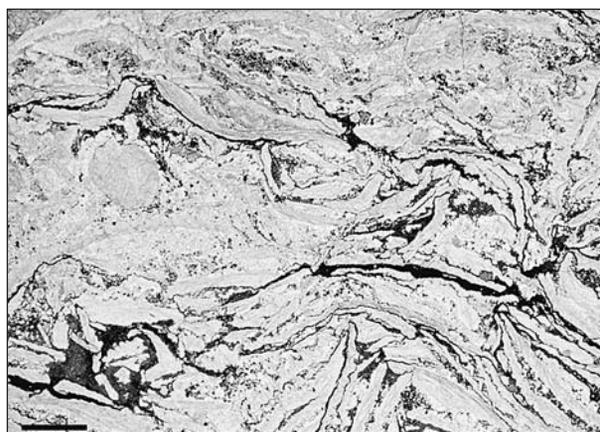
Конечно, обнаружить настоящий арагонит в отложениях возрастом старше 290 млн лет невозможно, и даже в пермских осадочных породах (290—252 млн лет) он сохраняется как таковой в исключительных случаях. Причина тому — химическая нестабильность этого минерала: он со временем замещается обычным кальцитом. Та же участь ждет высокомагнезиальный кальцит: он превращается в магнезиальный карбонат — доломит. Потому среди палеозойских (540—252 млн лет) и более ранних отложений мы встречаем только кальцит и доломит. Однако распознать, первичны они или вторичны по происхождению можно: формой кристаллов арагонит отличается от кальцита, и последний, замещая его, образует псевдоморфозы, т.е. агрегаты кальцита в форме арагонитовых кристаллов. Иногда в них сохраняется избыток стронция, характерный для арагонита, но не для кальцита. Сэндберг как раз использовал эти и ряд других минералогических и геохимических признаков для своего исследования.

С тех пор чередование «аргонитовых» и «кальцитовых» эпох было подтверждено и дру-

гими методами. Например, с помощью анализа первичного состава океанической воды, включения которой могут «уцелеть» в кристаллах соли [10]. Попутно выяснилось, что в Мировом океане менялось соотношение не только ионов кальция и магния, но и натрия и калия, а также хлоридов и сульфатов. Все эти ионы закономерно связаны между собой, и поэтому для «кальцитовых» эпох характерны калий-хлоридные морские соли, а для «аргонитовых» — магний-сульфатные. Эта закономерность позволила американскому геохимику Л.Харди предположить, что ионным составом морских вод прежде всего управляет тектоника плит. В эпохи, когда темпы роста земной коры океанического типа выше, с обильными гидротермальными рассолами в океаны поступают избыточные ионы натрия, кальция и хлора (одновременно ионы магния поглощаются новообразовавшимися базальтами). И наоборот, когда скорость роста замедляется, ионный состав морских вод определяется речным стоком — преобладают ионы кальция и бикарбоната [11]. Понятно, что темпы формирования коры океанического типа способствуют также росту срединно-океанических хребтов, которые, заполняя чашу Мирового океана,



Скелет обызвествленной губки (археациаты) с кристаллами микродоломита, которые сформировались по первичному высокомагнезиальному кальциту. Нижний кембрий (525 млн лет). Саха-Якутия (Россия). Диаметр скелета — 1 см.



Темпеститы (штормовые отложения), образовавшиеся из раковин и скелетов, сложенных низкомагнезиальным кальцитом. Средний кембрий (505 млн лет). Горы Эльбурс (Иран). Средний размер обломков — 5 см.

выталкивают существенные объемы воды на сушу (именно этот процесс в большей степени определяет уровень Мирового океана, чем пресловутое «таяние ледников»). Казалось бы, в единую непротиворечивую модель удалось наконец собрать такие важные явления, как периодические изменения состава вод Мирового океана, его уровня и характера морских отложений. Но... без «но» не обойтись.

Во-первых, за последние 35 млн лет темпы расширения срединно-океанических хребтов не менялись, а переход от очередной «кальцитовой» эпохи к «арагонитовой», продолжающейся и ныне, случился [12]. Во-вторых, высокий уровень Мирового океана сам по себе мог быть достаточной причиной, чтобы понизилось содержание ионов магния (через доломитизацию обширных карбонатных платформ). А в-третьих, количественный и качественный анализ распределения карбонатов различного состава выявил более частое чередование «кальцитовых» и «арагонитовых» эпох, никак не объяснимое с позиции тектоники плит [13].

Значит, имеет смысл вернуться к гипотезе самого Сэндберга, связавшего эти циклы с уровнем содержания двуокиси углерода в атмосфере. Секрет такой связи довольно прост: чем выше этот уровень, тем больше растворяется двуокиси углерода в Мировом океане. И далее, по цепочке химических преобразований, в океаническом резервуаре повышается содержание угольной кислоты, фактически — это ионы бикарбоната и водорода. В результате среда подкисляется, а растворимость карбонатных минералов, особенно менее устойчивых арагонита и высокомагнезиального кальцита, возрастает. Например, при повышении содержания углекислого газа в атмосфере в два раза по отношению к современному растворимость арагонита возрастает в 1,5 раза. Этого вполне достаточно, чтобы свести на нет



Рифы, сложенные животными, чьи скелеты построены из низкомагнезиального кальцита. Такими животными были мшанки и обызвествленные губки — строматопораты. Средний девон (390 млн лет назад). Кантабрийские горы (Испания).

рифы современного типа, поскольку они построены в основном организмами со скелетами из арагонита и высокомагнезиального кальцита [14]. Потому такие животные и водоросли преобладали исключительно в «арагонитовые» эпохи. С наступлением «кальцитовых» эпох подобные организмы отчасти вымирали и/или их замещали родственники с кальцитовым скелетом (например, двусторчатые моллюски, мшанки, кораллы, водоросли) или механизм скелетизации переключался на более устойчивый минерал (пример тому — губки, иглокожие). Все это подтверждено не только палеонтологической летописью: во время массовых вымираний исчезали преимущественно организмы с неподходящей для данной эпохи минера-

лизация скелета [15]. То же самое доказано и экспериментами в морских аквариумах и в естественной среде [16, 17].

Закономерные изменения уровня углекислого газа в атмосфере, совпадающие с чередованием «арагонитовых» и «кальцитовых» эпох, устанавливаются и другими методами. Например, по концентрации устьиц на листовой пластинке. А количество устьиц тем меньше, чем выше парциальное давление двуокиси углерода, поскольку эти органы растений осуществляют пассивный газообмен со средой [18]. Еще один метод — соотношение стабильных изотопов углерода в почвенных минералах или поверхностном фитопланктоне, которое напрямую зависит от парциального давления углекислого газа [19, 20]. Соотно-

шение стабильных изотопов бора в раковинках планктонных фораминифер тоже позволяет выявить колебания уровня CO₂, так как отражает кислотность среды [21].

Глобальное потепление или?..

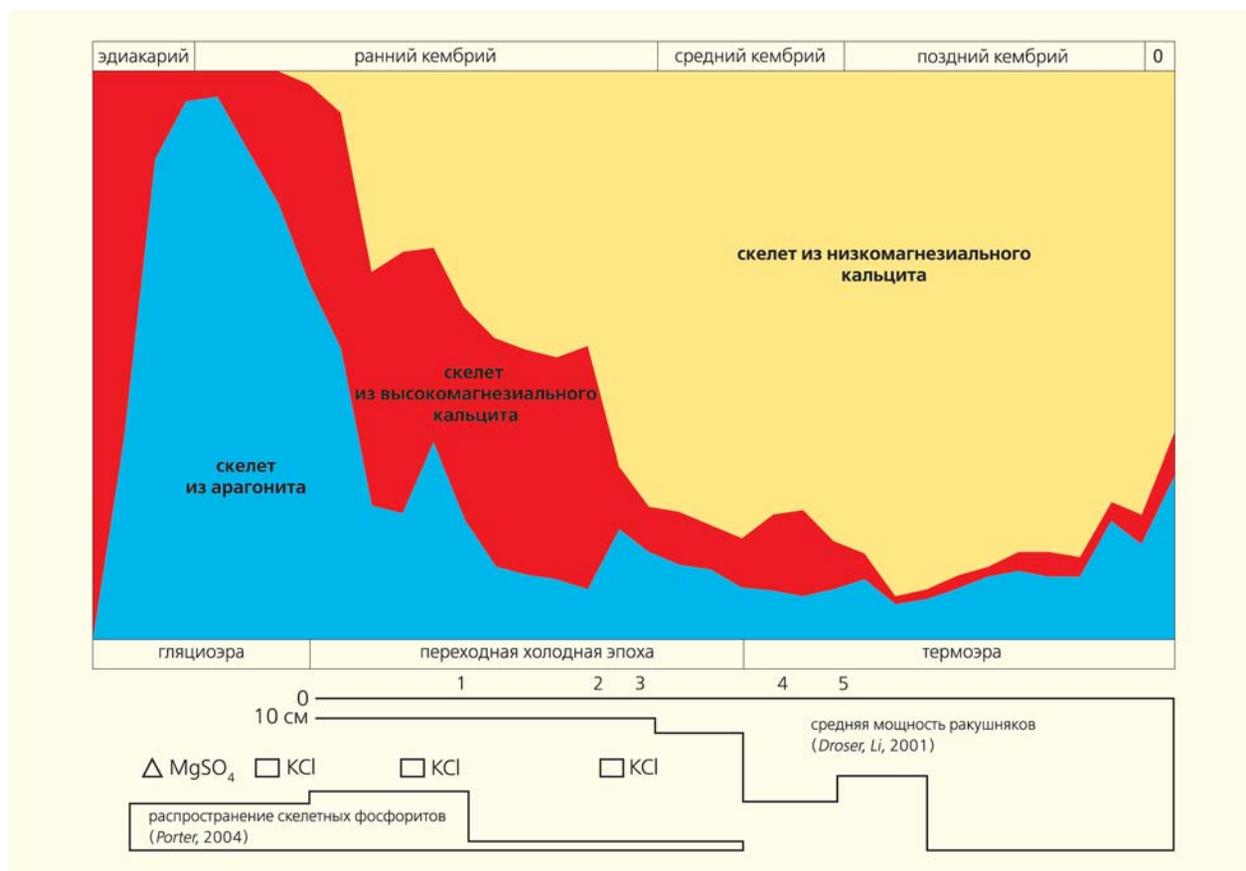
В свою очередь, эпохи «арагонитовых» морей совпадают с гляциоэрами. Так называются длительные (в несколько десятков миллионов лет) интервалы в истории Земли, характеризующиеся наличием обширных континентальных оледенений. «Кальцитовые» эпизоды приходятся на «термоэры» (продолжительные временные интерва-

лы, в течение которых ледяные «шапки» практически отсутствовали). Свидетельствует ли эта взаимосвязь о влиянии уровня углекислого газа в атмосфере Земли на ее климат?

Похоже, что так. В течение последних 550 млн лет доля животных со скелетами из арагонита и высокомагнезиального кальцита в ископаемой летописи планеты циклически, периодически, изменяется. Однако при том доля животных с арагонитовым скелетом неуклонно растет, в то время как животных с кальцитовым скелетом становится все меньше и меньше. Эта тенденция проявляется и в общем таксономическом разнообразии морской фауны, и в обилии рифовых карбона-

тов, сложенных их скелетами [15, 22, 23]. Графики, отражающие это понижение, повторяют кривую содержания двуокси углерода в атмосфере, рассчитанную по одной из моделей геохимического баланса. В модели учитывается множество данных [24]:

- изменения площади суши и расчлененность ее рельефа;
- палеоширотное положение континентов;
- темпы роста срединно-океанических хребтов и скорость субдукции;
- солнечное излучение;
- распространение высших растений;
- распределение центров карбонатного осадконакопления в океане.

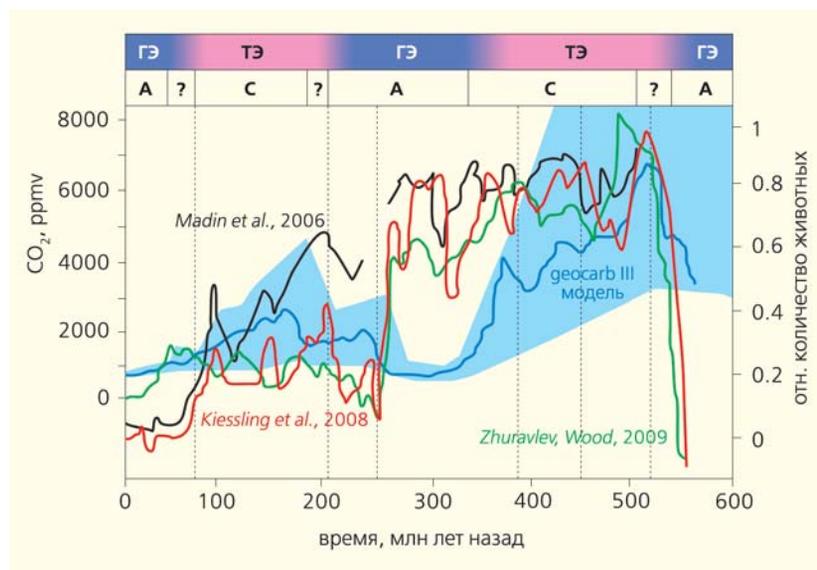


График, отражающий количественные изменения животных с разным скелетом начиная от позднепротерозойской гляциоэры до раннепалеозойской термоэры. Приведены также события в биосфере и литосфере, происходившие в это же время, т.е. 550—480 млн лет назад [13]. MgSO₄ и KCl — состав морских солей [10]. 1 — первое глобальное вымирание морской фауны; 2 — глобальное падение уровня моря; 3 — извержение платобазальтов в северо-западной Австралии, возможно, повлиявшее на потепление; 4 — распространение темпеститов, свидетельствующее об учащении ураганов; 5 — распространение строматолитов, занявших место рифов. 0 — ордовикский период.

Эти расчеты подтверждают разными методами, которыми определяют уровень двуокиси углерода в атмосфере [18–21], и не отличаются от данных других эмпирических моделей. Однако и графики палеотемператур, показывающие соотношение изотопов кислорода в различных стабильных минералах, ведут себя сходным образом [25]. Получается, что между колебанием концентрации углекислого газа в атмосфере и изменением климата Земли есть прямая связь. Она указывает не только на цикличность этого процесса, но и на то, что цикличность накладывается на прогрессивное снижение температуры в приповерхностных слоях атмосферы.

Интересно, что заметны три интервала наиболее резкого падения уровня углекислого газа в атмосфере. Один из них охватывает каменноугольный период — раннепермскую эпоху (354–256 млн лет назад) и приходится на время развития обширных лесов, состоящих из видов с устойчивой к разрушению древесины. Другой длится от позднего триаса до ранней юры (227–180 млн лет назад) и совпадает с временем появления обильного известкового нанопланктона и кораллов, живущих в симбиозе с водорослями динофлагеллятами. Наконец, третий интервал приходится на кайнозойскую эру (с 65.5 млн лет назад по настоящее время), когда развиваются древесные растения с их мощной корневой системой и микоризой и травы, накапливающие опаловые фитолиты и тем самым ускоряющие выветривание кремнеземсодержащих горных пород [26, 27].

Нельзя не отметить, что поверхность листьев европейских деревьев и кустарников в 4 раза больше площади самой Европы, а поверхность корней превышает последнюю в 80–400 раз. И эта площадь весьма активна: здесь выделяются сильные органические кислоты, способствующие химическому выветрива-



Колебания концентрации углекислого газа в атмосфере и доля морских организмов с арагонитовым скелетом в течение последних 600 млн лет [15]. Разноцветными кривыми показаны результаты расчетов, сделанных разными авторами (современный уровень CO_2 — 379 ppmv, т.е. объемных миллионных долей), закрашенная площадь отражает пропорцию животных со скелетом из низкомагnezияльного кальцита. ГЭ, ТЭ — гляцио- и термоэры, А — «арагонитовые моря», С — «кальцитовые моря».

нию, и сюда напрямую подводится углекислый газ, изъятый из атмосферы. (Гниющий листовый опад и прочие растительные остатки придают этому выветриванию дополнительное ускорение, поскольку органические кислоты образуются именно при их разложении.)

Глобальные модели изменений уровня содержания углекислого газа в атмосфере Земли действительно неплохо согласуются с характером ее растительного покрова в течение последних 450 млн лет (приблизительно на этом рубеже началось освоение растениями суши) [24]. Замерить количественные характеристики этой взаимосвязи оказалось очень сложно, но в конечном счете удалось. Оказалось, что наземные растения несомненно способствуют химическому выветриванию. В реках, стекающих с облесенных базальтовых гористых островов, продуктов выветривания растворено на порядок больше, чем в водных артериях на островах «лысых» [28].

Вместе с растворенными карбонатами в океан поступают и другие продукты жизнедеятельности наземных растений, в первую очередь железо, нитраты и фосфаты. Скопления этих жизненно важных соединений (биогенов) вызывает «цветение» бактериального планктона (цианобактерий, или синезеленых водорослей) и растительного. К последнему относятся различные группы свободно плавающих одноклеточных водорослей; важнейшие из них — кокколитофориды, диатомовые и динофлагелляты. Все они нуждаются не только в биогенах, но и в двуокиси углерода, без которой не может идти фотосинтез. Но чтобы оказать заметное воздействие на уровень углекислого газа, водоросли должны получать подкормку. Опыты по расщиванию железа в тех районах Тихого океана, где обычно наблюдается дефицит этого элемента, привели к быстрому росту биомассы фитопланктона и одновременному падению содержания углекис-

лого газа в атмосфере [29]. Кстати, данный эффект практически нейтрализует поступление в атмосферу этого газа от подводного и островного вулканизма: вместе с газами вулканы выбрасывают значительное количество металлических «удобрений», и поспевающий водорослевый урожай потребляет весь углекислый газ [30].

Конечно, востребованная водорослями и бактериями двуокись углерода вскоре возвращается обратно. Растут и размножаются не только они: активизируется зоопланктон, питающийся этими организмами, и далее все звенья пищевой цепочки вплоть до деструкторов (грибов и бактерий), которые разлагают многократно употребленную органику на исход-

ные составляющие. Добиться направленного изъятия двуокиси углерода из оборота можно только захоранивая органические вещества, причем в неокисленном виде. Именно это и происходило во все три названные интервала наиболее существенных изменений в растительных сообществах планеты.

В результате и вся биосфера планеты переменялась. В океане стали преобладать организмы с арагонитовым скелетом, на суше — животные с постоянной температурой тела. Растения тоже приспособились к жизни при пониженном содержании двуокиси углерода в атмосфере (за счет иного метаболизма углерода) [15, 31, 32]. Особенно ускорились эти изменения биосферы в последнюю

гляциоэру, начавшуюся примерно 35 млн лет назад. Современный «ледниковый период» представляет собой лишь часть этой гляциоэры. Не обязательно заключительную...

* * *

Наш «ледниковый период» совсем и не думал заканчиваться, и дальше события могут развиваться в любую сторону. Может, потеплеет, а может, и похолодает, как было десятки раз до появления на Земле человека и независимо от его пожеланий и даже действий. Мы этого не знаем... И, учитывая отношение общества к науке (спикер Государственной думы публично назвал нас «мракобесами»), никогда уже не узнаем, поскольку знать не хотим. ■

Литература

1. *Evans D.A.D.* // Am. J. Sci. 2000. V.300. P.347—433.
2. *Young S.A. et al.* // Geology. 2009. V.37. P.951—954.
3. *Smith S.V., Buddemeier R.W.* // Annu. Rev. Ecol. Syst. 1992. V.23. P.89—118.
4. *Hards V.* // British Geol. Surv. Sustainable and Renewable Energy Occasional Publ. 2005. №10. P.1—20.
5. *Raymo M.E.* // Geology. 1991. V.19. P.344—347.
6. *Kerrick D.M., Caldeira K.* // Earth Planet. Sci. Lett. 1999. V.173. P.195—203.
7. *Smith F. et al.* // Nature Geosci. 2010. V.3. P.374—375.
8. Scientific Committee on Ocean Research // Oceans, Carbon and Climate Change. 1992.
9. *Sandberg P.A.* // Nature. 1983. V.305. P.19—22.
10. *Lowenstein T.K. et al.* // Science. 2001. V.294. P.1086—1088.
11. *Hardie L.A.* // Geology. 1996. V.24. P.279—283.
12. *Horita J. et al.* // Geochim. Cosmoch. Acta. 2002. V.66. P.3733—3756.
13. *Zhuravlev A.Yu., Wood R.A.* // Geology. 2008. V.36. P.923—926.
14. *Guidry M.W. et al.* Biological and Geochemical Forcings to Phanerozoic Change in Seawater, Atmosphere, and Carbonate Precipitate Composition / Eds P.G.Falkowski, A.H.Knoll // Evolution of Primary Producers in the Sea. Boston, 2007. P.377—403.
15. *Zhuravlev A.Yu., Wood R.A.* // Geology. 2009. V.37. P.1123—1126.
16. *Ries J.B.* // Geochim. Cosmochim. Acta. 2006. V.70. P.891—900.
17. *Cbeca A.G. et al.* // Marine Biol. 2007. V.150. P.819—827.
18. *Retallack G.J.* // Phil. Trans. R. Soc. London A. 2002. V.360. P.659—673.
19. *Ekart D.D. et al.* // Am. J. Sci. 1999. V.299. P.805—827.
20. *Pagani M. et al.* // Science. 2005. V.309. P.600—603.
21. *Demicco R.V. et al.* // Geology. 2003. V.31. P.793—796.
22. *Kiessling W. et al.* // Nature Geosci. 2008. V.1. P.527—530.
23. *Madin J.S. et al.* // Science. 2006. V.312. P.897—900.
24. *Berner R.A., Kotbavala Z.* // Am. J. Sci. 2001. V.301. P.182—204.
25. *Veizer J. et al.* // Chem. Geol. 1999. V.161. P.59—88.
26. *Stanley S.M.* // Earth-Sci. Rev. 2003. V.60. P.195—225.
27. *Beerling D.J., Berner R.A.* // Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2005. V.102. P.1302—1305.
28. *Drever J.I.* // Geochim. Cosmochim. Acta. 1994. V.58. P.2325—2332.
29. *Wells M.L.* // Nature. 1994. V.368. P. 295—296.
30. *Gíslason S.R. et al.* // Chem. Geol. 2002. V. 190. P. 181—205.
31. *Falkowski P.G. et al.* // Science. 2005. V.309. P.2202—2204.
32. *Tipple B.J., Pagani M.* // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2007. V.35. P.435—461.



Задача: прогноз землетрясений

М.В.Родкин

Под катастрофой в общественном сознании подразумевается нечто неожиданное и ужасное. Пожалуй, наиболее полно этому образу отвечают землетрясения, когда один из символов постоянства и надежности — земная твердь — начинает сильно дрожать, покрываться трещинами и странным образом деформироваться. Каковы же возможности предсказания подобных внезапных и страшных катаклизмов?

Неопределенность в ответе на этот вопрос красноречиво подтверждается текстом резолюции, принятой в январе 2009 г. на Генеральной ассамблее Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли в Кейптауне. В резолюции одновременно подчеркивается актуальность исследований по прогнозу землетрясений и доказательств возможности такого прогноза. Именно на примере прогноза землетрясений отрабатываются различные методы прогноза развития неустойчивости и кризисов, используемые затем в самых различных сферах — в финансах, поведении сложных инженерных сооружений, экологии.

Юность — пора несбывшихся надежд

Первые надежно зарегистрированные примеры успешного прогноза землетрясений отно-



Михаил Владимирович Родкин, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Международного института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН. Известен как автор флюидометаморфогенной модели сейсмотектогенеза, а также своими работами в области статистики и режима редких сильных событий и в области прогноза развития неустойчивостей.

сятся к 1970-м годам. Тогда казалось, что окончательный успех — получение стабильных содержательных прогнозов — уже не за горами, надо только собрать побольше разносторонней информации о состоянии земных недр и научиться лучше ее обрабатывать. Наиболее активной проблемой прогноза землетрясений занимались в Китае, СССР, США и Японии. Американцы и японцы сделали ставку на региональные сети сбора геофизической информации, Советский Союз — на совершенствование методики сбора и анализа данных по отдельным специально выбранным полигонам. Китай, как уже не раз в своей истории, сделал ставку на многочисленное, трудолюбивое и исполнительное население.

В период культурной революции в КНР создали целую армию народных наблюдателей, которые должны были сообщать

обо всех явлениях, могущих иметь отношение к подготовке сильного землетрясения, об изменениях уровня воды в колодцах, аномалиях в поведении животных и о многих других возможных признаках надвигающейся катастрофы. В нескольких наиболее сейсмоопасных районах организовали сеть инструментальных наблюдений. И в 1975 г. пришла большая удача — китайским специалистам удалось предсказать сильное Хайченгское землетрясение с магнитудой 7.3. В течение нескольких месяцев наблюдения фиксировали аномально быстрые движения земной поверхности. Потом все чаще стали поступать сигналы от народных наблюдателей, отмечавших аномалии в поведении животных. Наконец 4 февраля в 14 ч после серии слабых толчков — возможных предвестников грядущего сильного землетрясения — объявили общую тревогу.

© Родкин М.В., 2010

Людей вывели из зданий, а в 19 ч 36 мин последовал сильнейший толчок, разрушивший 90% всех сооружений г.Хайченг.

Из 600 тыс. горожан погибло около 2 тыс. и 27 тыс. получили ранения. Но если бы не принятые меры, число жертв могло стать намного больше. Впрочем, эйфория от успешного прогноза продолжалась недолго. 28 июля 1976 г. непредсказанное разрушительное Таншаньское землетрясение оставило под руинами китайских городов (в том числе и в Пекине) более 240 тыс. человек. В последующие годы в Китае удавалось предсказывать землетрясения, но значительно чаще стихия наносила удар неожиданно. Неподтверждавшиеся прогнозы приводили к большим экономическим потерям и порождали панику среди населения. Анализ ситуации, сопоставление числа успешных и ложных прогнозов и их последствий способствовали принятию решения ограничить проведение эвакуационных мероприятий и широко оповещение о возможных землетрясениях.

Неудачу китайской программы по предсказанию землетрясений списали на ненадежность метода сбора данных: подверженность народных наблюдателей вспышкам бдительности или, наоборот, неоправданного благодушия.

Казалось бы, решение проблемы должны обеспечить современные геофизические сети. Сейсмоактивные области США и вся территория Японских о-вов покрылись плотной сетью геофизических наблюдений. Регистрацией сейсмических колебаний дело при этом не ограничивалось: измерялись уровень, температура и химический состав подземных вод, скорости движения земной поверхности, аномалии гравитационного и геомагнитного полей. Проводился мониторинг атмосферных, ионосферных и геоэлектрических явлений. В Советском Союзе не хватало возможностей

для развертывания региональных сетей наблюдения, и вместо этого в наиболее интересных регионах создали ряд первоклассных комплексных геофизических полигонов.

Но надежды на современную технику также не оправдались. Высокий рост объема получаемой геофизической информации не привел к заметному росту качества прогноза. Ученые зафиксировали огромное число различных геофизических аномалий, предположительно связанных с процессами подготовки землетрясений (наподобие, например, быстрых движений земной поверхности перед Хайченгским событием). Однако подавляющее большинство этих аномалий не повторялись при других землетрясениях. Несмотря на все усилия, так и не удалось получить эффективный и экономически оправданный прогноз, при котором предотвращенные потери устойчиво превосходили бы ущерб от ложных тревог.

Время глубокого скепсиса

Как результат неудачи, в отношении работ по прогнозу землетрясений стал развиваться глубокий скепсис, особенно сильный в тех странах, где ранее были созданы технически наиболее совершенные сети наблюдений и где перспектива получения прогноза еще недавно казалась такой близкой. Этот скепсис получил весомое теоретическое подкрепление. Основу теоретической сейсмологии составляет известный эмпирический закон Гутенберга—Рихтера. Он связывает число и силу толчков степенным соотношением: при увеличении энергии землетрясения в 1000 раз (на 2 единицы магнитуды) количество событий такого масштаба уменьшается примерно в 100 раз. Отсюда, кстати, вытекает важный вывод: львиная доля всей выделяемой сейсмической энергии приходится на малое число

сильнейших событий. Именно они (особенно когда задевают крупные города) и причиняют основной ущерб. Ученые настойчиво пытались объяснить закон Гутенберга—Рихтера с самого его открытия. И во второй половине XX в. выяснилось, что такое распределение встречается не только в сейсмологии. Аналогичному закону подчиняется число жертв в зависимости от природных катастроф (и не только землетрясений), подобным же образом распределены населенные пункты по количеству жителей, компании по величине капитала, военные конфликты по числу жертв. В физике степенные законы распределения типичны для критических процессов (например, для фазовых переходов второго рода). Их принято также называть самоподобными, потому что в них отсутствует какой-либо выделенный размер и характер распределения един (самоподобен) для слабых, средних и сильных событий. Соответственно, процессы на разных пространственных и временных масштабах выглядят единообразно. Так, карта тектонических разломов земной коры с масштабом в сотни километров весьма похожа на шлиф горной породы с сеткой микротрещин. Удобным способом математического описания таких самоподобных структур служат фракталы. Существенно, что самоподобные распределения не могут реализовываться в бесконечной области (при этом возникали бы физически нереализуемые бесконечности). Обычно такие законы распределения выполняются в диапазоне нескольких порядков величины.

В 1987 г., чтобы объяснить широкое распространение в природе степенных распределений, американец К.Визенфельд (K.Wiesefeld), датчанин П.Бак (P.Bak) и китаец Чао Танг (Chao Tang) выдвинули красивую и оказавшуюся весьма плодотворной идею развития самоорганизованной критичности, или, ко-

ротко, СОК-гипотезу. Она предполагает, что сложные динамические системы самопроизвольно эволюционируют в направлении критического состояния, при котором существенную роль играет взаимодействие не только соседних, но и далеко отстоящих элементов.

Критические явления и сопутствующие им степенные законы хорошо исследованы в физике, они характерны для систем, состоящих из большого числа взаимодействующих между собой объектов. Такое взаимодействие приводит к согласованному поведению многих частиц и развитию «конкуренции» между разными типами их согласованного поведения. При вскипании перегретой воды (не вполне строгий, но зато хорошо понятный пример) стоит только возникнуть зародышу новой фазы, как к нему сразу присоединяется и переходит в новую фазу большое число окружающих его атомов. Между соседними зародышами при этом возникает конкуренция за атомы, от хода которой и зависит распределение образовавшихся пузырьков по размерам. Более крупные зародыши имеют преимущество. Аналогично, более крупные города сильнее привлекают людей, предоставляя им больше возможностей в выборе работы и отдыха. Подобный кооперативный тип поведения резко отличается от того, при котором отдельные элементы системы ведут себя независимо, подобно молекулам идеального газа.

Модель СОК претендует на объяснение, почему в столь разных системах возникают степенные законы распределения. Она быстро приобрела большую популярность, и стало привычным объяснять все случаи реализации степенных (или похожих на них) распределений развитием самосогласованной критичности.

Следует отметить, однако, что изящество СОК-модели в значительной степени маски-

рует то обстоятельство, что развитие самопроизвольной эволюции сложных систем в направлении критического состояния в ней во многом просто постулировалось. Примеров конкретных механизмов, описывающих такую эволюцию, по-прежнему весьма мало, и все они в основном относятся к сильно упрощенным модельным системам.

Применительно к проблеме прогноза землетрясений литосфера Земли по СОК-гипотезе рассматривалась как среда, постоянно находящаяся в критическом (т.е. крайне неустойчивом) состоянии. В критическом состоянии отсутствуют характерные пространственно-временные размеры и, следовательно, надежные оценки места, времени и силы землетрясения невозможны. Отсюда следует, что возникновение в данный момент того или иного землетрясения — исключительно дело случая и принципиально непредсказуемо. В такой ситуации, согласно запоминающемуся образу из фантастического рассказа Р.Брэдли, случайный взмах крыльев бабочки может привести в действие спусковой механизм, вызывающий большую катастрофу. Если это так, то проблема предсказания землетрясений снимается как принципиально неразрешимая, а то и вовсе «ненаучная», вроде попыток изобрести вечный двигатель. Действительно, для получения прогноза в рамках СОК-модели требуется бесконечно большой объем информации, вплоть до учета ничтожного дуновения воздуха от крыльев бабочки, что очевидно нереализуемо.

Поясним на пальцах математическую сторону эффекта «бабочки Брэдли». Мы все со времен средней школы знаем, что на ноль делить нельзя. Представим теперь, что величина эффекта определяется членом, крайне малое значение знаменателя которого зависит от дуновения воздуха, порождаемого крыльями бабочки. В этом слу-

чае эффект будет сильно зависеть и от поведения бабочки.

Но только ли критическим состоянием земной коры обуславливается трудность прогноза? Попробуем сравнить задачу с предсказанием погоды. На собственном опыте мы знаем, что оно не всегда точно. А теперь представьте, что синоптики не располагают никакими средствами измерения внутри атмосферы — им доступны лишь замеры температуры, влажности и давления под тонким слоем почвы. Конечно, такие данные несут определенную информацию о метеорологических процессах, но вряд ли построенный по ним прогноз будет сколь-либо точен. А ведь сейсмологи находятся именно в таком положении: прямой доступ на глубины, где происходят землетрясения, пока невозможен. Ситуация в земных недрах оценивается косвенным образом, по измерениям, проводимым на поверхности Земли.

Не менее существенная трудность состоит в том, что мы, по сути, не знаем, что такое землетрясение. Еще в эпоху эйфории и надежд известный советский сейсмолог Н.В.Шебакин настаивал, что предсказание землетрясений невозможно, так как для них нет хорошей физической модели. Это утверждение нуждается в некоторых пояснениях. Принято считать, что причина землетрясений кроется в высоких тектонических напряжениях, а сами напряжения трактуются по аналогии с разрушением обычного образца горной породы, только очень большого. Нужно взять образец, положить под пресс и, постепенно повышая усилие, его разрушить. Также можно (пусть и намного более грубо) оценить величину напряжений в литосфере. Так вот, оказывается, что они намного меньше требуемых для разрушения образцов горных пород. Как же тогда возникают землетрясения? Пока не вполне понятно. Особенно загадочно существование так называемых

глубоких землетрясений. При огромных давлениях внутри мантии Земли (а очаги землетрясения фиксируются до глубины 700 км) даже для того, чтобы произошла подвижка по уже готовому разлому, требуются гигантские напряжения. А никаких указаний на существование столь высоких величин нет и в помине. Наоборот, все данные говорят, что напряжения в мантии весьма умеренные. Пожалуй, если бы глубоких землетрясений не было, то в учебниках по сейсмологии вполне убедительно доказывалось бы, что их и быть-то не может. Без удовлетворительной физической модели трудно произвести отбор хороших прогнозных признаков. И трудно интерпретировать результаты наблюдений и экспериментов. Нам остается отслеживать вариации интенсивности сейсмического процесса и пытаться выявить неустойчивости в его режиме. Именно на такой подход и ориентированы почти все существующие в настоящее время методы прогноза.

К концу 80-х годов тематика прогноза землетрясений перестала быть популярной в научном сообществе. Говорить об этом стало считаться дурным тоном, а само слово «предсказание» было изгнано из научной литературы. Если уж приходилось касаться этой щекотливой темы, то пользовались менее обязывающим «прогнозом». Мода в науке не менее требовательна, чем в обыденной жизни, и в 1994 г. Конгресс США даже принял особое решение о прекращении целевой поддержки программ по прогнозу землетрясений и переводе усилий на сейсмостойкое строительство.

Маятник возвращается — прогноз возможен

Вывод о принципиальной непредсказуемости землетрясений встретил не только поддержку, но и естественный —

почти на подсознательном уровне — протест. Разве такой масштабный процесс, при котором целые хребты смещаются на десятки метров, может запускаться совершенно спонтанно, без всякой подготовки? И так ли уж похоже землетрясение на критическое явление? Разве что внезапно, плохой предсказуемостью и наличием степенных каскадов слабой форшоковой (развивающейся по мере приближения главного толчка) и вполне явственной афтершоковой (после сильного землетрясения) активизации. Но в ряде принципиально важных моментов сейсмический процесс резко отличается от критического явления. Например, хорошо известные фазовые переходы II рода протекают без выделения или поглощения энергии. В то же время сильные землетрясения сопровождаются внезапным выделением огромной энергии. Именно эти выбросы энергии и делают их предсказание столь актуальным.

Да и в рамках самой СОК-гипотезы задача прогноза землетрясений при ближайшем рассмотрении не оказалась столь уж бессмысленной. Поясним ситуацию классическим примером критического процесса — самопроизвольным возникновением намагниченности магнитных материалов ниже точки Кюри. В этих условиях взаимодействие между соседними спинами становится столь значительным (по сравнению со случайными тепловыми колебаниями), что соседним магнитным моментам энергетически выгоднее выстроиться параллельно. В отсутствие внешнего магнитного поля направление образующейся намагниченности случайно и определяется тем, какое направление намагниченности начало формироваться первым (сугубо случайным фактором). Понятно, что если направление намагниченности случайно, то сам факт ее возникновения вполне закономерен и намагниченность неизменно возникает,

как только температура упадет ниже точки Кюри.

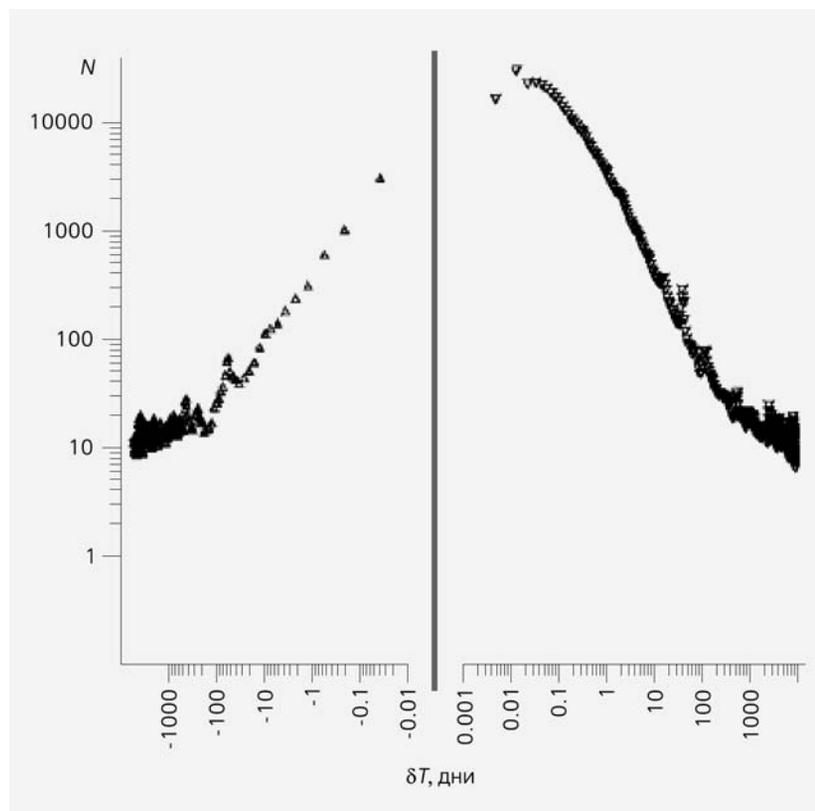
По аналогии можно предположить, что прогноз землетрясений возможен, если критическое состояние земной коры достигается не всегда, т.е. можно говорить о большей или меньшей мере критичности. И действительно, на Земле существуют не только сейсмоактивные, но и асейсмичные районы, где землетрясений практически не бывает. Вряд ли литосферу этих областей можно описывать как непрерывно находящуюся в критическом состоянии. А значит, резонно предположить, что бывают разные степени критичности, и соответственно можно как-то оценивать меру критичности и вероятность возникновения сильного землетрясения.

Однако существование абсолютно асейсмичных территорий также достаточно проблематично. Крайне редко, но землетрясения случаются и там. Самое удивительное из подобных событий произошло 25 марта 1998 г. на расстоянии около 500 км от побережья Антарктиды, у о-вов Баллени, на стабильной океанической плите. По современным сейсмотектоническим представлениям такие плиты принято полагать тектонически пассивными и абсолютно асейсмичными.

Если трактовать сейсмический процесс как находящийся на грани критического состояния, то возможен не только прогноз, но и получение определенных выводов о характере предвестников землетрясения. Известно, что в процессе развития критичности резко увеличивается чувствительность среды к внешним воздействиям. Сейсмологи не раз замечали, что перед крупными землетрясениями литосфера сильнее откликается на прохождение приливных волн или циклонов. Эти крайне слабые по геологическим меркам воздействия могут играть роль спускового крючка. Один из характерных призна-

ков роста критичности — аномально высокая вариабельность интенсивности сейсмического режима, наличие отчетливой активизации или затишья. Важный признак приближающегося сильного землетрясения — степенной рост числа более слабых событий (форшоков) в области влияния главного события. Однако такой рост надежно выделяется только при совместном анализе данных по большому количеству землетрясений. Для каждого конкретного события этот рост неразличим на фоне сильных нерегулярных изменений интенсивности сейсмического режима. На развитие критического режима указывает также частота разнесенных пространственно, но близких по времени сейсмических событий, а также увеличение доли относительно сильных толчков. Перечисленные особенности сейсмического режима и ранее выделялись специалистами как характерные предвестниковые признаки. Но прежде это были тенденции, более или менее надежно выявляемые из совокупности эмпирических данных. А теперь подобные признаки получили теоретическое обоснование. И это — значительный прогресс. Если раньше прогноз землетрясений строился, по сути, на опыте и интуиции сейсмологов, то сейчас стало возможным проверять аномалии на соответствии некоему теоретически ожидаемому сценарию развития неустойчивости.

Сомнения в предсказуемости землетрясений также пошли на пользу науке, поскольку стимулировали тщательную проверку алгоритмов прогноза. Стало правилом тщательно и однозначно формулировать алгоритм прогноза и регулярно публиковать его новые версии, что позволяет всем желающим самостоятельно его проверять и оценивать эффективность. Почти все алгоритмы прогноза были, кстати, разработаны в рамках советской (а затем российской) сейсмологической



Осредненная зависимость изменения числа (N) слабых землетрясений в единицу времени перед сильным землетрясением и после него. Четко выраженная тенденция степенного роста числа форшоков свидетельствует о принципиальной возможности прогноза.

школы. Дольше и тщательнее других проверялся алгоритм среднесрочного прогноза сильных землетрясений с магнитудой более 8, получивший обозначение М8. За время проверки было предсказано семь из девяти сильных землетрясений с упреждением не более пяти лет. Для выдачи экстренных предупреждений этого, конечно, недостаточно. Но и такой прогноз позволяет заблаговременно принять меры по снижению возможного ущерба от ожидаемого удара стихии и повысить готовность к проведению спасательных мероприятий. Сравнение результатов применения алгоритма М8 со случайным угадыванием показало, что предсказывать землетрясения можно, по крайней мере в статистическом смысле. В результате с конца прошлого века скепсис относительно прогнозирования зем-

летрясений пошел на убыль, и эта тематика снова получила гражданские права в науке.

Новые надежды и новые задачи

В последние годы в исследованиях по прогнозу землетрясений стали широко применяться космические средства наблюдения. Сильные землетрясения — это крупномасштабные события, дающие мозаичную картину предвестников на большой территории. Такая мозаичность в значительной мере и обуславливает неповторяемость картины предвестников при разных землетрясениях. Космические методы регистрации дают широкий обзор территории и менее чувствительны к мозаичности поля предвестника. Они позволяют отслеживать деформа-

цию земной поверхности, изменение температуры почв при выбросах глубинных флюидов, вариации в свойствах ионосферы, предположительно связанные с подготовкой и реализацией сильных землетрясений, и много других параметров.

NASA, например, делает ставку на массивированное использование высокоточной системы глобального позиционирования GPS, а также появившихся чуть позже спутниковых радаров с синтетической апертурой InSAR. GPS позволяет с точностью до миллиметров отслеживать положения точек земной поверхности, где установлены стационарные приемники, и оценивать скорости их движения. Предполагается, например, что отклонения от равномерного смещения вдоль разломов системы Сан-Андреас в Калифорнии — одного из самых сейсмически активных районов Северной Америки — позволят выявить места зацепок и накопления напряжений, т.е. вероятные

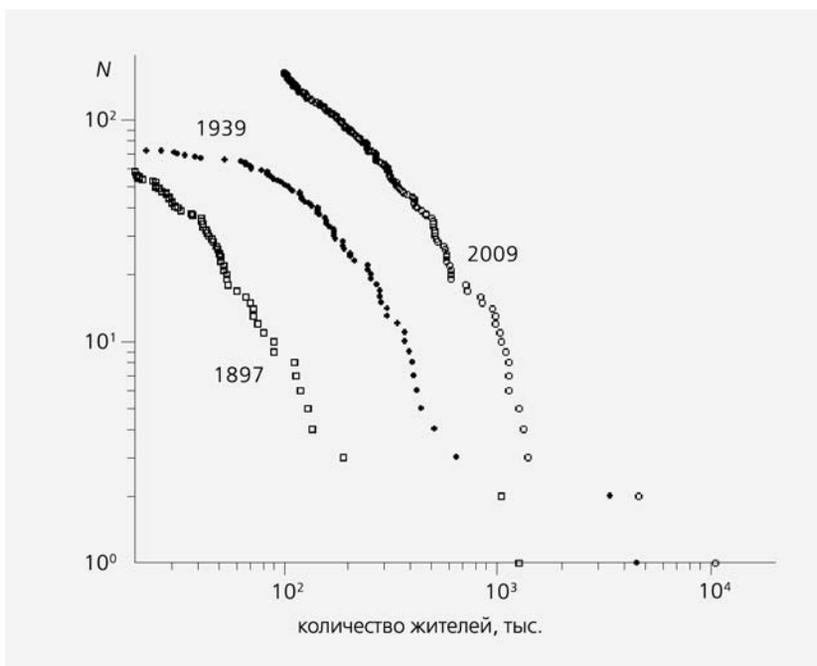
места готовящихся землетрясений. Технология InSAR дает площадные изображения смещений земной поверхности за интервалы времени между последовательными обзорами территории. Объединение данных GPS и InSAR обеспечивает возможность мониторинга движений земной поверхности, немислимую еще несколько лет назад. Остается только непростая задача: выделить из этих данных сигнал, говорящий о месте и силе будущего землетрясения.

Другая задача в исследовании землетрясений — подобраться к самому очагу — реализуется в настоящее время совместно Геологической службой США (USGS), Международной научной программой глубокого континентального бурения (ICDP) и Национальным научным фондом США (NSF). Начиная с 2004 г. бурилась специальная скважина. В прошлом году она пересекла тело разлома Сан-Андреас на глубине 3 км. Сейчас в ней устанавливают

приборы глубинной обсерватории SAFOD (San Andreas Fault Observatory in Depth), которые будут передавать информацию непосредственно из зоны готовящихся очагов землетрясений.

Среди современных европейских систем наблюдения интерес представляет французская программа на основе запущенного в 2004 г. спутника DEMETER (Detection of ElectroMagnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions). Она предусматривает проведение как дистанционных, так и наземных проверок и привязок космических данных. Эта программа интересна тем, что ориентирована на прогнозирование землетрясений по данным об изменении состояния ионосферы. (Отметим, что на сегодняшний день полученные результаты весьма скромны.)

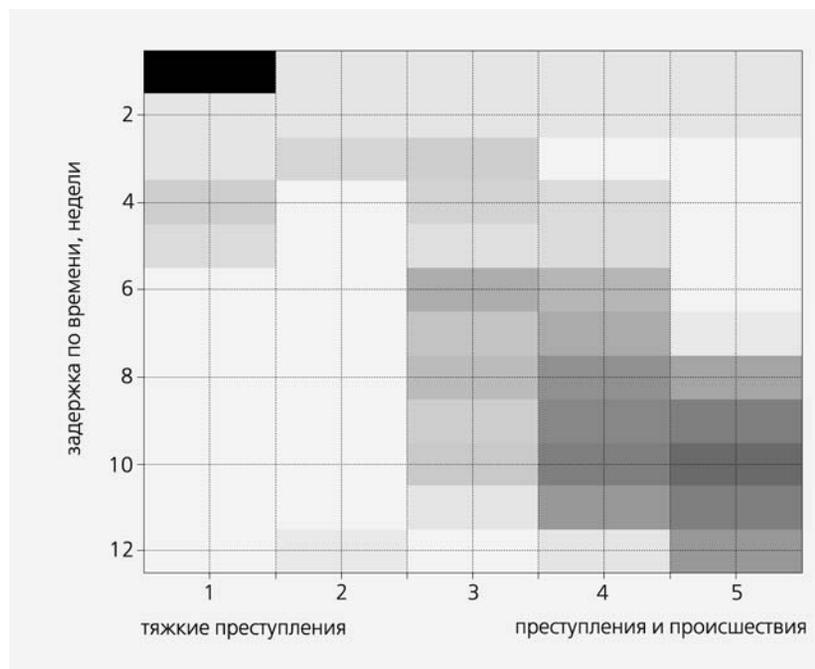
Итак, можно констатировать, что, согласно современным представлениям, прогноз землетрясений принципиально возможен, но, по-видимому, только в вероятностном варианте. В дополнение к вышесказанному добавим, что проведенные нами исследования особенностей сейсмического режима в районах сильных землетрясений с определенностью свидетельствуют о развитии в пространственно-временной окрестности сильного землетрясения комплекса признаков, отвечающих сценарию развития неустойчивости, ожидаемому в рамках модели критического процесса. Эти признаки, по совокупности данных для большой группы сильных землетрясений, уверенно проявляются за несколько месяцев до события и на расстояниях в несколько размеров очага сильного землетрясения. Наш результат весомо подкрепляет принципиальную возможность прогноза. Но проявления таких признаков в каждом конкретном случае (а не в среднем, для большой совокупности событий) сильно затуманиваются индиви-



Распределение числа (N) городов в зависимости от числа жителей можно описать степенным законом распределения, аналогичным распределению числа землетрясений в зависимости от сейсмической энергии. Приведены данные по крупным городам России за 1897, 1939 и 2009 гг. Начиная с XIX в. выделяются агломерации Санкт-Петербурга и Москвы.

дуальными чертами сейсмического режима в данной пространственно-временной области. Выявление подготовки конкретного землетрясения оказывается возможным только в статистическом смысле. Какой точности прогноза при этом можно реально достичь — пока неясно. Можно надеяться, что с ростом точности наблюдений и объема данных надежность прогноза будет возрастать; по-видимому, однако, довольно медленно.

В заключение хочется отметить, что, хотя справиться с задачей получения эффективного прогноза землетрясений пока не удалось, такие работы принесли немало пользы для науки в целом. Они оказались пионерскими для широкой и крайне актуальной сферы исследований — изучения признаков неустойчивости в поведении сложных динамических систем самой разной физической природы. Сейсмология оказалась первой областью знания, где стала понятна особая роль степенных распределений. В настоящее время разработанные в сейсмологии общие подходы применяются к оценке устойчивости самых разных динамических систем, включая развитие биржевых кризисов и социальных катаклизмов. В связи с разразившимся мировым экономическим



Градации серого цвета отвечают разной средней плотности числа наиболее тяжелых (первые классы) и менее тяжелых преступлений и происшествий (последующие классы). Видно, что повышению наиболее тяжелых преступлений предшествуют периоды увеличения менее тяжелых видов. Активизация «перетекает» из области менее тяжелых преступлений в правом нижнем углу рисунка в область более тяжелых и более поздних преступлений — в левом верхнем углу.

кризисом эти исследования оказались особенно востребованы. Так, например, в Международном институте системного анализа в Вене разрабатывается программа поведения сильных внезапных событий (с центром

тяжести на прогнозе экономических катастроф), где в качестве методологической основы предполагается использовать методы, предложенные ранее для решения задачи сейсмического прогноза. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 06-05-64971, 08-05-90448 и 09-05-92655.

Питьевая вода — драгоценное полезное ископаемое

Р.С.Штенгелов, Е.А.Филимонова, А.А.Маслов

Вряд ли кому-то нужно разъяснять, что значит вода для человека. Однако лишь немногие достаточно полно понимают, насколько сложна проблема обеспечения устойчивого и качественного питьевого водоснабжения, имеющая истинно глобальное значение для человечества. Если глобальное потепление — пока лишь научная гипотеза или грандиозная афера, то дефицит ресурсов пресной воды — это факт. Каждый второй житель Земли испытывает трудности с доступом к чистой питьевой воде. В состоянии «водного стресса» уже живут более 600 млн человек, а к 2030 г., по прогнозам ЮНЕСКО, почти половина населения планеты столкнется с дефицитом воды. Ведь только за последние полвека ее потребление возросло втрое!

Это давняя и большая тревога мирового сообщества. В 2000 г. принята Декларация тысячелетия ООН, подчеркивающая необходимость сокращения как минимум наполовину доли населения, не имеющего доступа к безопасной питьевой воде, и прекращения экологически неустойчивой эксплуатации водных ресурсов. Около 2 млн человек ежегодно умирают от болезней, связанных с качеством питьевой воды.

Генассамблея ООН объявила 2005–2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода



Ростислав Степанович Штенгелов, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова.



Елена Александровна Филимонова, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер той же кафедры.



Алексей Анатольевич Маслов, кандидат геолого-минералогических наук, доцент той же кафедры.

Область научных интересов авторов связана с изучением взаимодействия поверхностных и подземных вод, оценкой запасов и ресурсов подземных вод, моделированием фильтрации подземных вод.

для жизни». Каждые три года проводится Всемирный водный форум. Ежегодно 22 марта по инициативе ЮНЕСКО и Международной ассоциации водоснабжения практически во всех странах мира проводится Международный день воды.

И все чаще из уст крупнейших политиков и ученых звучат тревожные и даже зловещие прогнозы: «Мир вступил в эпоху войн за стратегические ресурсы, среди которых важнейшим становится пресная вода», «Если мир и будет воевать, то из-за воды».

Существует ли глобальный дефицит ресурсов пресной воды?

В этом контексте прозвучит парадоксально, но пресной воды (с общей минерализацией до 1 г/дм^3) на нашей планете в избытке (рис.1) — от 35 до 60 млн км^3 (цифры у разных исследователей разные — слишком сложен предмет подсчетов). При этом надо оговориться, что основная часть этого объема временно законсервирована в ледниках Арктики и Антарктики и в виде подземного льда в зоне вечной мерзлоты. Однако гораздо важнее, что в процессе планетарного круговорота воды ежегодно возобновляется, т.е. образуется за счет испарения на акватории Мирового океана и на континентах, около 600 тыс. км^3 пресной воды. Казалось бы, даже этого количества с лихвой хватает для обеспечения человеческих нужд — ведь человечество потребляет ежегодно «всего» 3—4 тыс. км^3 воды (около 1,5 м^3 , или 1500 л, в сутки на каждого жителя Земли). И тем не менее проблема глобального дефицита ресурсов пресной воды реально существует.

В первую очередь это объясняется крайней неравномерностью распределения водных ресурсов, обусловленной климатической зональностью. Десятки стран в областях аридного



Рис.1. Пемзенская протока р.Амура в районе Хабаровска (вверху) и самоизлив подземных вод из скважины на берегу р.Москвы вблизи г.Звенигорода.

Фото Р.С.Штенгелова (вверху) и А.С.Преображенской

и полуаридного климата, т.е. там, где потенциальное испарение превышает сумму атмосферных осадков, испытывают недостаток ресурсов пресных поверхностных и подземных вод и вынуждены опреснять

морскую воду, использовать солоноватые воды для орошения и т.д. Даже в России, обладающей четвертью всей пресной воды на планете (после Бразилии, на долю которой приходится 40%), имеются засушливые ре-

гионы с весьма напряженным водным балансом — Калмыкия, Южный Урал, юг Сибири.

В то же время надо подчеркнуть, что в ряде районов возможность полноценного использования водных ресурсов ограничивается интенсивным техногенным загрязнением — неконтролируемым сбросом в реки неочищенных бытовых и промышленных стоков, смывом с полей сельхозудобрений, пестицидов и др. Такое положение свойственно не только густонаселенным районам с невысоким уровнем жизни и отсутствием благоустройства населенных пунктов (Юго-Восточная Азия, Африка). Даже в благополучном Старом Свете в период бурного индустриального развития красавец Рейн был превращен в «сточную канаву Европы». Придунайские страны — Румыния, Венгрия, Болгария, Украина — до сих пор обвиняют друг друга в загрязнении этой крупнейшей водной артерии Европы. Предотвращение подобных ситуаций, реабилитация природных вод в районах многолетнего массивированного загрязнения возможны лишь за счет повышения экологической культуры общества, разработки и строжайшего соблюдения природоохранного законодательства, целенаправленных технологических мероприятий и огромных материальных затрат. Лишь объединенными, «интернациональными», усилиями за последние 20 лет удалось вернуть Рейну статус одной из самых чистых крупных европейских рек.

Как распоряжается человек пресной водой? Львиная доля (70%) уходит на сельскохозяйственное орошение, еще 20% потребляет промышленное производство и всего лишь 10% используется для коммунального водоснабжения. Средний городской житель расходует от 100 до 400 л воды в сутки; в Москве современный норматив потребления холодной воды (без учета горячего водоснабжения и отопления) составляет 7 м³

в месяц, т.е. около 230 л в сутки. При этом американскими специалистами подсчитано, что для «биологических» нужд (питья, приготовления пищи) человеку нужно не более 5% от этого количества [1]. Есть над чем задуматься — ведь остальные 95% воды (специально обработанной, доведенной на водопроводных станциях до питьевых кондиций с помощью дорогостоящих мероприятий!) напрямую уходят в канализацию через смывные бачки туалетов, при мытье посуды, санитарно-гигиенических процедурах и пр. Как разделить питьевую и хозяйственную воду? Провести две трубы в каждую квартиру практически невозможно, разве что для вновь создаваемых городских районов с обособленными водопроводными сетями. Централизованная установка индивидуальных аквафильтров в каждой квартире, нормированное распределение бутилированной питьевой воды — все эти и подобные варианты возможны в принципе, но требуют ответственной организации и значительных затрат. Однако надо понимать (и главное — принимать), что вода — социально значимый продукт и она будет добываться независимо от себестоимости.

Подземные или поверхностные источники пресной воды?

Для хозяйственно-питьевого водообеспечения примерно поровну применяют поверхностные (из рек, озер, водохранилищ) и подземные воды, однако отчетливо прослеживается прогрессирующая тенденция к преимущественному использованию подземных вод — до 100% во многих европейских странах, от 50 до 75% в США, Китае. В России доля подземных вод достаточно высока (около 45%).

Это предпочтение основывается главным образом на высокой природной защищенности

подземных вод от естественных и техногенных загрязнений, перед которыми поверхностные водные объекты практически беззащитны. Общеизвестна, например, ситуация 2005 г. с катастрофическим нитробензолным загрязнением рек Сунгари (КНР) и Амура с реальной угрозой дезорганизации поверхностного водоснабжения Хабаровска и других городов края. Менее масштабные, но не менее сложные для местного водного хозяйства случаи повторяются с завидной регулярностью в самых разных районах. Совсем недавно, в феврале 2010 г., в очередной раз «встало» водоснабжение г. Краснокамска; причина — установленное химическое загрязнение городского водозабора из р. Камы. Почти обычным явлением, к сожалению, становятся случаи катастрофического бактериального загрязнения поверхностных водоисточников.

Другое немаловажное для устойчивости систем водоснабжения преимущество использования подземных вод — высокая зарегулированность (равномерность по сезонам года) подземного стока. В отличие от этого, в большинстве рек, имеющих характерное для территории России снеговое питание, за короткий период половодья проходит 60–80% годового стока, а в меженные периоды расходы снижаются в десятки и даже в сотни раз.

Наконец, следует особо подчеркнуть высокое естественное качество подземных вод, которые содержат многие микроэлементы, необходимые для человеческого организма. Это позволило знаменитому русскому геологу А.П. Карпинскому назвать подземные воды «самым драгоценным полезным ископаемым».

Именно по всем перечисленным причинам потребление подземных вод на земном шаре постоянно растет. Только в Московской обл. из подземных водоносных горизонтов в известняках каменноугольного периода ежесуточно добывается почти

4 млн м³ воды. Но мы живем в материальном мире, а по его законам «всякое действие имеет равное по силе и обратное по знаку противодействие». Ведь без какого-либо преувеличения можно утверждать, что подземные воды — один из основных, «каркасных», элементов строения окружающей среды. Неотъемлемая ветвь круговорота природных вод, они поддерживают течение рек в самые низководные меженные периоды года, во многом определяют состояние увлажненности приповерхностного корнеобитаемого слоя почвы и тем самым участвуют в формировании и поддержании облика ландшафтов. Менее известна, но не менее значима геомеханическая функция подземных вод, участвующих в распределении геостатических и геодинамических напряжений в земной коре. Понятно поэтому, что значительный отбор воды из земных недр способен в ряде случаев вызвать негативные инженерные и экологические последствия. Известны уникальные примеры осадки земной поверхности (Мехико, земля Гессен в ФРГ, Ханой), интенсификации карстово-суффозионных процессов с деформацией зданий (Москва), иссушения и деградации плодородных почв в южных регионах европейской части России.

Но наиболее быстро проявляется и зримо воспринимается влияние подземного водоотбора на речной сток. Дело в том, что большинство (около 2/3) подземных водозаборов оборудуются вблизи рек, на расстоянии 100–200 м и ближе. При длительной непрерывной работе такого водозабора образуется депрессионная воронка — область понижения уровней грунтовых вод, величина которого достигает 5–10 м вблизи водозабора и постепенно затухает к периферии воронки (рис.2). Когда воронка достигает русла реки (а на небольших реках и переходит на другой берег), то вначале в ее пределах происходит уменьшение подземного

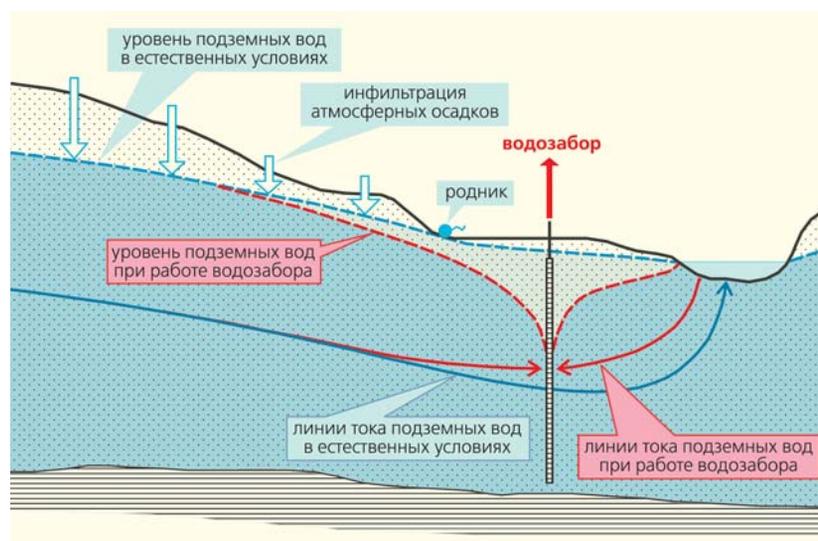


Рис.2. Принципиальная схема работы приречного подземного водозабора.

питания реки, затем его полное прекращение (инверсия), после чего возникает фильтрация речной воды из русла в водоносный горизонт, возрастающая по мере дальнейшего понижения уровня подземных вод. В сумме эти два процесса (сокращение притока подземных вод и прямые потери речной воды из русла) наносят ущерб речному стоку, т.е. сокращают расход рек. В пределе ущерб может достигнуть величины подземного водоотбора, обычно же он несколько меньше, так как в зоне депрессионной воронки сокращается эвапотранспирация, возрастает переток из соседних водоносных горизонтов и возникают другие процессы, частично компенсирующие подземный водоотбор.

Ущерб речному стоку наиболее заметен в меженные периоды, когда расходы рек снижаются до минимальных внутригодовых величин. Кроме того, он особенно ощутим для малых рек длиной не более 50–100 км и с площадью водосбора до 1500–2000 км² [2, 3]. Такие реки составляют основу гидрографической сети; на их долю в европейской части России приходится около 80% среднего многолетнего стока [3]. Заметим также, что любая сколь угодно

большая река в своем верхнем течении неизбежно попадает в категорию малой.

Уменьшение расхода реки и ее обмеление создает проблемы для гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства и других водопользователей и водопотребителей на нижележащем участке реки. Водным кодексом РФ регламентируется необходимость установления «лимитов забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта» [4], тем не менее до настоящего времени нет нормативных документов по оценке допустимых изъятий речного стока. Сложность разработки универсальной методики таких оценок обусловлена необходимостью учета совокупности разноплановых природных и водохозяйственных факторов в каждом конкретном случае [5]. Однако все участники научной дискуссии по этой проблеме сходятся во мнении, что величина минимального остаточного расхода определяется «экологической значимостью реки» и должна обеспечивать нормальное функционирование водных и наземных экосистем. Хотелось бы лишь подчеркнуть, что «экологическую значимость» реки следует оценивать расширительно, с учетом социально-психологи-

ческих аспектов. Ведь люди испокон веков в большинстве своем селятся у рек — это и вода, и источник пропитания, и пути сообщения, и пойменные луга и... просто красота! И когда все это под угрозой — неизбежен протест, чаще более эмоциональный, чем рациональный, погасить который непросто. Вот яркий пример тому.

Борьба за воду

70—80-е годы уже прошлого века. Город Архангельск в устье Северной Двины, центр одной из крупнейших областей и первый морской порт России. Как и в большинстве крупных городов, включая Москву, централизованное водоснабжение Архангельска основано на использовании поверхностных вод. Городской водозабор подает воду из реки на станцию водоподготовки, где она физическими и химическими методами очищается и поступает в коммунальную водоразборную сеть. Но надо представлять себе, что Северная Двина — это интенсивное судоходство, включая заход морских судов из Двинской губы Белого моря, несколько крупнейших целлюлозо-бумажных комбинатов вверх по течению реки, сам Архангельск и множество крупных и мелких населенных пунктов с их бытовыми стоками... Стоит ли удивляться, что двинская вода давно утратила свои природные свойства и представляет собой опасную смесь с многократным превышением концентрации легкоокисляемых органических соединений, нефтепродуктов, с интенсивным «аптечным» запахом, цветностью 200 градусов и целым букетом примесей лигнина, метанола, фенолов, формальдегида, хлороформа и других отходов лесохимических производств. Показатели микробиологического загрязнения воды в отдельные периоды превышали допустимую норму в десятки раз.

Еще в середине XIX в. Луи Пастер говорил: «Люди выпивают 90% своих болезней». Архангельские медики, врачи-гигиенисты, специалисты санитарно-эпидемиологического надзора били тревогу: многолетнее употребление некачественной питьевой воды — угроза для здоровья архангелогородцев. По сравнению со средними по стране в городе превышены показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями, вирусным гепатитом А, серозным менингитом, паратифозными заболеваниями, кишечными инфекциями, болезнями крови, пищеварения, мочевиноделительной системы.

Что делать, как повысить качество воды в системе городского водоснабжения? Вариантов немного. Первый — очистить реку. Благая мысль, но для тех времен она была явно утопической — нужно много денег и много времени, а наше государство уже катилось в экономическую пропасть. Второй вариант — совершенствовать до идеальной эффективности систему водоподготовки. Однако интенсивно применяемые для этого реагенты неизбежно оставляют в очищаемой воде свои следы — в частности, остаточный алюминий, соединения которого небезопасны (на это счет в народе бытует точное замечание: «одно лечим, другое калечим»). Наконец, последний выход — изменить источник водоснабжения. Водопотребность города с учетом перспектив развития определена в 250—300 тыс. м³/сут. Другие местные реки — мелкие притоки Северной Двины — не в состоянии круглогодично обеспечивать такую водоподачу, да и качество воды в них тоже не идеальное.

Оставалось надеяться только на подземные воды. Но результаты исследований показали, что в ближайших окрестностях Архангельска нет достаточных их запасов. С запада подпирают структуры Балтийского щита, сложенные слабодоносными древними метаморфическими

породами протерозоя и нижнего кембрия (рис.3). С востока широкой полосой на дневную поверхность выходят терригенные отложения пермской системы, повсеместно содержащие (в рассеянном виде и в форме прослоев и пластов) гипс, галит и другие легкорастворимые соли. Естественно, в этой области не только подземные, но и речные воды имеют повышенную минерализацию и непригодны для питья.

Перспективно выглядит полоса карбонатных пород средне- и верхнекаменноугольного возраста, меридионально протянувшаяся по Онего-Двинскому междуречью на Беломоро-Кулойском плато. Такие породы обычно в той или иной мере закарстованы, обладают высокой проницаемостью и содержат значительные запасы подземных вод хорошего качества. Именно такие водоносные горизонты обеспечивают питьевой водой Московскую обл. Но в Архангельской обл. на значительной площади в низовьях Северной Двины они перекрыты мощной (до 30 м и более) толщей глин, образовавшихся здесь при бореальной трансгрессии моря в период миклулинского межледникового (около 100 тыс. лет назад). Поровые растворы этих глин сохранили состав воды материнского морского бассейна, поэтому атмосферные осадки, просочившись через глины в нижезалегающие каменноугольные известняки, минерализуются, насыщаются йодом и делают подземные воды в известняках непригодными для питьевого применения. Севернее этой площади полоса известняков попадает в зону природных заказников, защищающих верховья нерестовых рек; возможность устройства здесь крупных подземных водозаборов исключена.

Лишь в 110 км южнее Архангельска гидрогеологи нашли и разведали крупное месторождение высококачественных подземных вод (рис.3). По ближай-

шей железнодорожной станции его назвали Пермиловским. Здесь, сразу за южной границей поля распространения микулинских глин, каменноугольные известняки выходят под дневную поверхность и перекрыты лишь маломощным (2–3 м) чехлом флювиогляциальных песков и моренных суглинков. Подземные воды сосредоточены в трещинах и карстовых кавернах в приповерхностной зоне массива известняков, подвергавшихся на последнем этапе геологической истории интенсивному выветриванию. Условия питания трещинно-карстовых подземных вод атмосферными осадками чрезвычайно благоприятные: гумидный климат (годовая норма осадков около 700–750 мм вдвое превышает возможную величину суммарного испарения 300–350 мм), пологий слаборасчлененный рельеф, ограничивающий поверхностный склоновый сток, многочисленные карстовые воронки, поглощающие снеготалые воды, и морозящие летние и осенние дожди... Уровни подземных вод в иной год поднимаются на 4–5 м (рис.4). Среднегодовой слой питания водоносного горизонта превышает 200 мм (30% от годовой суммы атмосферных осадков). Это означает, что на водосборной площади месторождения (более 1000 км²) ежегодно формируется около 200 млн м³ подземных вод, т.е. более 500 тыс. м³/сут.

Потоки подземных вод растекаются с междуречных областей питания и разгружаются в днищах долин местных рек и в озерных котловинах. На площади месторождения известны крупные карстовые родники с дебитом 20–30 тыс. м³/сут. Шелмовский родник в верховьях р.Кеньги весной увеличивает дебит до 100 тыс. м³/сут. Якучинский родник в урочище Верховье выходит на дне огромной карстовой воронки, соединяющейся с рекой протокой, по которой свободно ходят моторные лодки. Безмянный родник

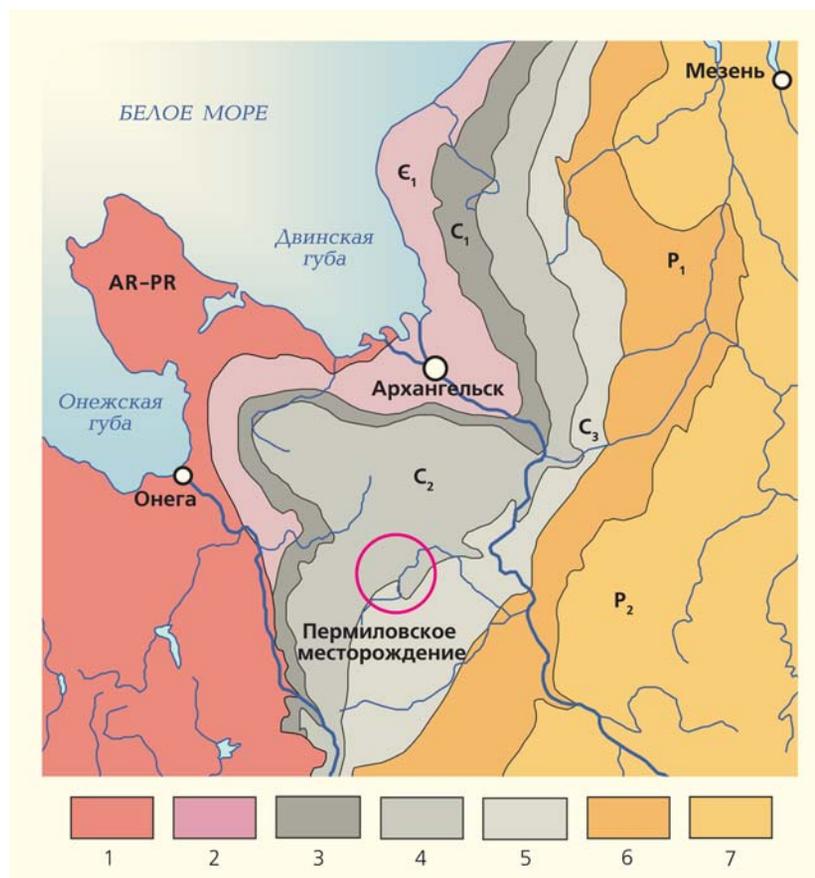


Рис.3. Геологическое строение области Пермиловского месторождения: 1, 2 — метаморфические породы протерозоя (1) и нижнего кембрия (2), 3 — терригенные отложения нижнего карбона, 4, 5 — карбонатные отложения среднего (4) и верхнего карбона (5), 6 — терригенно-карбонатные соленосные отложения нижней перми, 7 — терригенные соленосные отложения верхней перми.

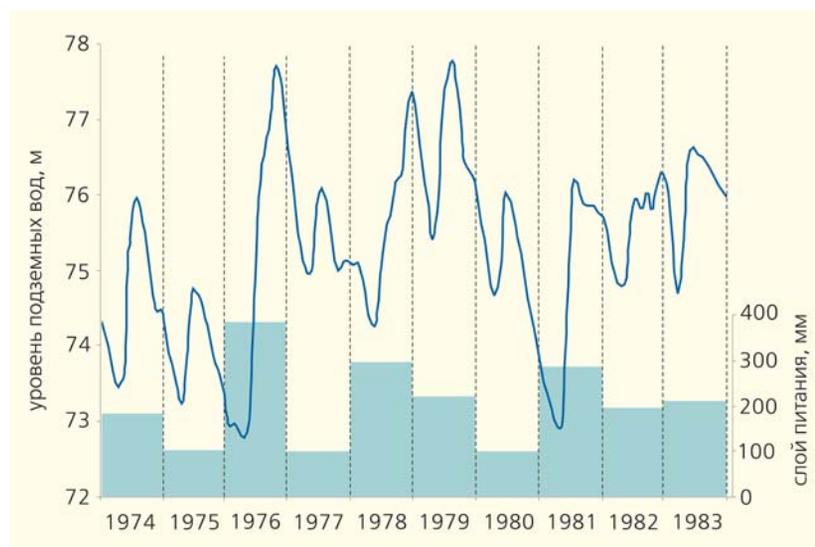


Рис.4. Режим уровней и инфильтрационного питания трещинно-карстовых подземных вод на Пермиловском месторождении (режимный пункт Швакино, скважина №4).

в урочище Корбаты местные жители уважительно называют «Ламанш». Большинство родников пробиваются на поверхность там, где путь подземным потокам преграждают древние ложбины стока талых вод, образовавшиеся при отступлении последнего покровного ледника. Эти ложбины глубиной 20—30 м, заполненные озерно-ледниковыми глинами, почти полностью прорезают водоносные известняки и создают подземные барражи, заставляющие поток подземных вод выходить на поверхность. Но все же основная форма разгрузки подземных потоков — рассредоточенная фильтрация через дно непосредственно в русла рек практически по всей их длине. И хотя она незаметна для глаза, именно ей обязаны своим происхождением протяженные естественные поймы на реках, незамерзающие в долгие периоды ледостава.

Подземное питание рек Пермиловского месторождения достигает 50—60% от их расхода (при обычной величине 10—20% для незакарстованных коллекторов). Получая такую мощную поддержку, реки текут подо льдом даже в самые сильные морозы и, несмотря на внешне спокойный, равнинный, характер, доставляют немало хлопот местным жителям. На основной реке Ваймуге в районе пос.Самодед практически каждую зиму образуются ледяные заторы, и вода разливаясь по пойме, затопливает близлежащие дома.

Как собрать рассредоточенные потоки подземных вод, двигающиеся в разных направлениях по площади месторождения? Ведь их суммарным расходом можно обеспечить надежное хозяйственно-питьевое водоснабжение города с населением 2.5 млн человек! С точки зрения гидрогеодинамики (раздела гидрогеологии, изучающего законы фильтрации) подземные водозаборы наиболее выгодно располагать в днищах речных долин на участках высокой проницаемости водовмещающих горных

пород и интенсивной русловой и родниковой разгрузки подземного потока. В таких условиях возможно устройство компактных групп водозаборных скважин с высокими удельными дебитами (большая производительность при малых понижениях уровня подземных вод).

Несколько лет архангельские гидрогеологи проводили на месторождении поисково-разведочные работы: в тяжелых условиях бездорожья, почти повсеместной заболоченности пробурены десятки разведочных скважин, выполнены сотни гидрометрических замеров во все сезоны года, проведены геофизические исследования в руслах рек, на химический и бактериологический анализ взяты десятки проб подземных и поверхностных вод. По результатам этих работ выбрано несколько оптимальных участков расположения водозаборных сооружений: два в урочище Корбаты с общей производительностью 140 тыс. м³/сут, еще два — ниже по течению в урочище Верховье (126 тыс. м³/сут) и один резервный у Кеньгозера (20 тыс. м³/сут). Проведены пробные откачки подземных вод с производительностью до 50 тыс. м³/сут. Качество воды — практически безукоризненное. Наконец, выполнен окончательный прогноз совместной эксплуатации всех водозаборных участков в течение 25 лет; для этого доцент кафедры гидрогеологии Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова С.О.Гриневский разработал оригинальную программу математического моделирования фильтрации подземных вод, учитывающую изменения расходов и глубин рек.

Результаты прогнозного численного моделирования подтвердили возможность получения необходимой производительности с помощью предложенной схемы водозабора — за исключением одного обстоятельства, которое впоследствии оказалось решающим для реали-

зации этого проекта. Прогноз показал, что на участке между урочищами Корбаты и Верховье в меженный период (февраль—апрель) может произойти значительное снижение расхода р.Ваймуги, вплоть до полного перехвата стока реки перед впадением р.Кямы. Надо подчеркнуть, что вероятность такого события невелика. Дело в том, что, как положено для систем водоснабжения высокой категории надежности водоподачи, все расчеты выполнены в «жесткой» постановке с наименее благоприятными значениями гидрогеодинамических параметров. Стоковые характеристики (расходы и уровни подземных вод, расходы и глубины рек) приведены к вероятности превышения 95%. Это означает, что в 95 случаях из 100 эти величины фактически будут больше, чем принятые в прогнозе. Однако вероятностно-стохастические оценки не дают возможности прогнозировать последовательности прохождения событий, т.е. в течение расчетного 25-летнего периода работы водозабора один низководный год и последовательная 5-летняя серия низководных лет равновероятны.

Учитывая, что на всем протяжении р.Ваймуги практически нет промышленных, энергетических и других водопотребителей и водопользователей, ущерб ее стоку в 3.5 м³/с был признан Государственной комиссией по запасам полезным ископаемым допустимым. Формально это давало право проектировать, строить и начинать эксплуатировать водозабор. Однако, когда эти планы были обнародованы, в местной прессе развернулась активная кампания противодействия осуществлению этого проекта, инициированная жителями пос.Самодед, расположенного на участке прогнозного сокращения стока р.Ваймуги и попадающего в зону санитарной охраны проектируемых водозаборных сооружений. Трудно остаться равнодушным к обращению депутатов Самодедского поселко-

вого совета: «Заказчики строительства водозабора и проектировщики забывают, что в этом случае потеряем мы жилье, работу, **самые корни свои мы утратим**». Наверное, что-то здесь преувеличено, что-то можно отнести к проявлениям «ноогенного невроза», но абсолютно точно видна суть вопроса: нельзя решать одну социальную проблему за счет создания другой.

Напрасно архангельские гидрогеологи, разведывавшие Пермиловское месторождение, и врачи-гигиенисты в статье «Вода — ты жизнь?» в газете «Правда Севера» убеждали, что пермиловский вариант — единственная и уникальная возможность обеспечить областной центр питьевой водой: «Призываем сограждан подумать, положив на одну чашу весов здоровье своих детей, внуков и правнуков, а на другую — всевозможные издержки в связи с освоением месторождения. Других оптимальных вариантов водоснабжения нет». Проектирование водозабора было приостановлено. А через год перестал существовать Советский Союз, и новую Россию захлестнули другие события и заботы. Архангельск по-прежнему закачивает в водопроводные сети двинскую воду. Иногда предпринимаются попытки поискать подземные воды где-нибудь в окрестностях города — пока без видимого результата. А Ваймуга по-прежнему бушует, каждый январь затапливая ледяной водой пос.Самодед.

В «экологических» спорах редко бывают победители — обычно по-своему правы обе стороны. За возможность жить цивилизованно человечество должно платить. Но плата эта должна быть абсолютно минимизирована и в этом заключается профессиональная и человеческая ответственность специалистов-инженеров. А если эта плата затрагивает права и интересы какой-то группы людей, то конфликт должен однозначно и ответственно разрешаться властью — либо добиваться доб-

ровольного согласия на достойную компенсацию, либо отказываться от исполнения проекта.

Вторая жизнь Пермиловского месторождения?

Отказываться от освоения уникального Пермиловского месторождения, по нашему мнению, преждевременно. Для регулирования внутригодовой неравномерности речного стока обычно прибегают к резервированию избыточного стока в водохранилищах. Однако в условиях выполненного рельефа, неглубокого вреза долин рек Ваймуги и Кямы в сочетании с повсеместным распространением поверх-

ностных карстовых явлений строительство водохранилища необходимого объема здесь практически неосуществимо.

В последние годы развиваются идеи комбинированного использования водных ресурсов [6, 7]. Один из вариантов их практической реализации — устройство комбинированных водозаборных систем, состоящих из основного и компенсационного водозаборов, которые управляются по единому диспетчерскому графику. Дебит основного водозабора обеспечивается речным стоком, поэтому в сезоны низкой водности его работа может вызвать недопустимый ущерб расходу реки (как и прогнозировалось при использовании предложенной схемы водо-

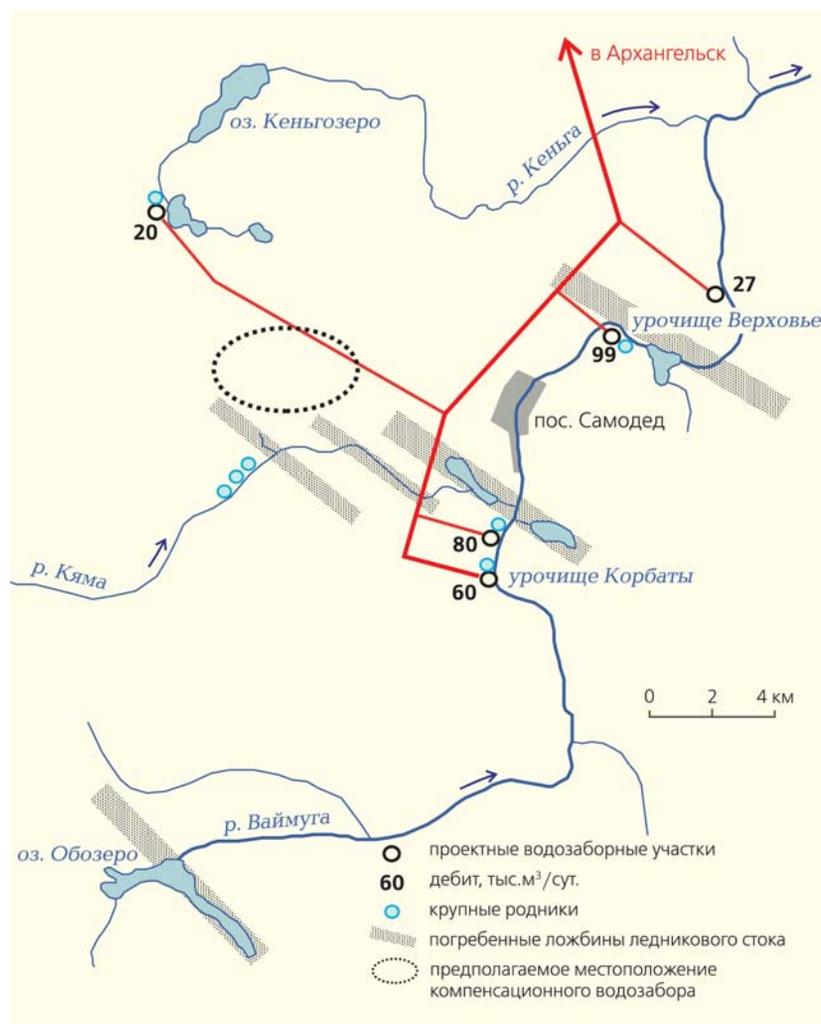


Рис.5. Ситуационный план Пермиловского месторождения.

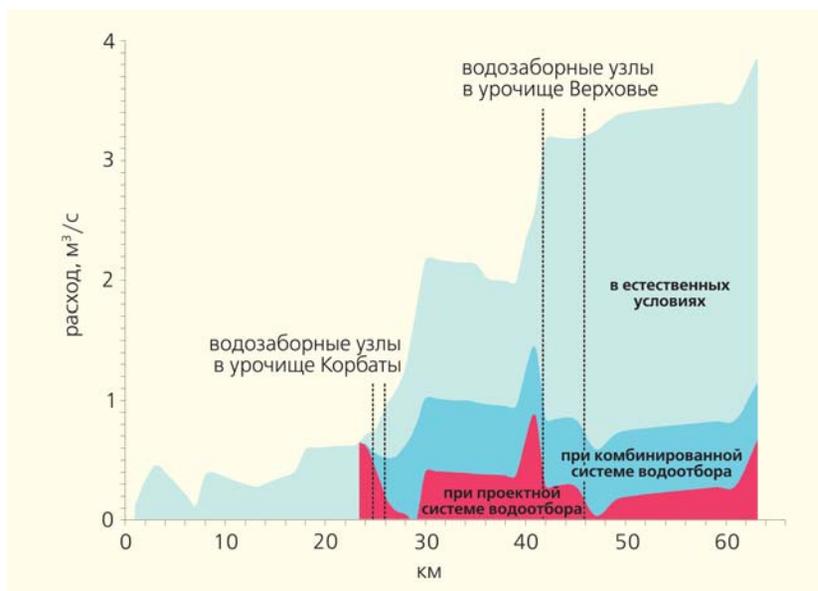


Рис.6. Продольные эпюры расхода р.Ваймуги в естественных условиях и при разных вариантах эксплуатационного водоотбора.

забора на Пермилковском месторождении). Следовательно, его производительность в такие периоды должна быть снижена до допустимых пределов, обеспечивающих сохранение экологически достаточного расхода реки. Дефицит водоподачи потребителям в этот период погашается временным включением подземного компенсационного водозабора, дебит которого должен обеспечиваться источниками, не участвующими в формировании речного расхода. Это, прежде всего, кратковременное использование естественных запасов подземных вод до момента достижения воронкой депрессии уреза реки. Гидрогеодинамическая задача

заключается в обосновании такого удаления компенсационного водозабора от реки, чтобы он не успевал за время своей работы повлиять на ее сток. По окончании низководного меженного периода основной водозабор восстанавливает полную производительность, а компенсационный отключается до следующей межени [6, 7].

Наши предварительные расчеты позволяют рекомендовать следующую схему организации комбинированного использования водных ресурсов Пермилковского месторождения:

— производительность водозаборных узлов в урочище Корбаты в низководный период года (с ноября по апрель) сни-

жается до величины, позволяющей сохранить расход Ваймуги в размере половины минимальной меженной величины;

— образующийся дефицит водоотбора переносится на компенсационный водозабор на междуречье Кямы и Кеньги (рис.5), работающий в течение шести месяцев с постепенно возрастающей производительностью от 18 (в ноябре) до 75 тыс. м³/сут (в апреле).

При таком перераспределении нагрузки между основным и компенсационным водозаборами удастся избежать критического снижения расхода Ваймуги на протяжении всего течения реки и не допустить полного перехвата речного стока, который прогнозировался при работе проектной системы водоотбора (рис.6).

Для уверенной проработки этого варианта необходима доразведка месторождения в области возможного расположения компенсационного водозаборного сооружения. Конечно, такое освоение месторождения (доразведка, строительство и обслуживание дополнительного водозабора с трубопроводной и энергетической инфраструктурой) обойдется дороже, но ведь речь идет в прямом смысле о здоровье полумиллиона наших соотечественников. И если у местных предприятий водного хозяйства нет материальных средств, а у предпринимателей нет бизнес-интереса, то, может, надо включить эти работы в список мероприятий по национальному проекту «Здоровье»? ■

Литература

1. Лосев К.С. Вода. Л., 1989.
2. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М., 1991.
3. Семенов В.А. Ресурсы пресной воды и актуальные задачи гидрологии // Соросовский образовательный журнал. Науки о Земле. 1996. №10. С.63—69.
4. Водный кодекс Российской Федерации №74-ФЗ 3 июня 2006 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2006. №23.
5. Данилов-Данильян В.И. и др. Оценка допустимых изъятий стока в бассейнах малых рек: основные методические положения // Водные ресурсы. 2006. Т.33. №2. С.224—238.
6. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М., 2001.
7. Фильмонова Е.А. Анализ баланса эксплуатационного водоотбора с использованием комбинированной водозаборной системы // Вестн. Моск. ун-та. Сер.4. Геология. 2009. №4. С.63—66.

Большая и малая панды: К чему приводит пищевое пристрастие

А.Н.Кузнецов, Е.Н.Мащенко

Европейцы знают их менее двух веков и называют пандами — большой и малой. Эти реликтовые животные отряда хищных млекопитающих, издавна живущие бок о бок, пока еще встречаются в горах Сычуаня, где заросли рододендрона и бамбука окутаны холодными облаками.

Спутать их невозможно ни друг с другом, ни с кем-либо еще. Большая панда похожа на медведя, а во внешности малой странным образом уживаются черты кошки, медведя и енота. Большая панда весит более центнера, а малая — всего 5 кг. У большой панды хвост так мал, что почти незаметен, а у малой — длинный, пушистый и полосатый. Вместе с «маской» на мордочке он придает зверьку сходство с енотом, но огненный мех на спине напоминает лисий. А вот большая панда одета в строгий черно-белый костюм, скроенный по какому-то причудливому индивидуальному заказу — будто специально, чтобы ни с кем не спутали.

История появления на Земле этих удивительных животных различается так же сильно, как и их внешность. За время их существования условия обитания на нашей планете успели столь значительно измениться, что большинство их прежних соседей по бамбуковому лесу вымерло, а хищные родственники отдалились, значительно продви-



Александр Николаевич Кузнецов, доктор биологических наук, доцент кафедры зоологии позвоночных Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, научный редактор телепередачи «Диалоги о животных». Область научных интересов — морфология хордовых животных, биомеханика, локомоция, эволюция.



Евгений Николаевич Мащенко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории млекопитающих Палеонтологического института имени А.А.Борисяка РАН, эксперт Росохранкультуры по палеонтологии. Занимается палеонтологией позвоночных животных, филогенией, систематикой приматов, хоботных, мезозойских млекопитающих.

нувшись по эволюционному пути и оставив панд в роли загадочных реликтов.

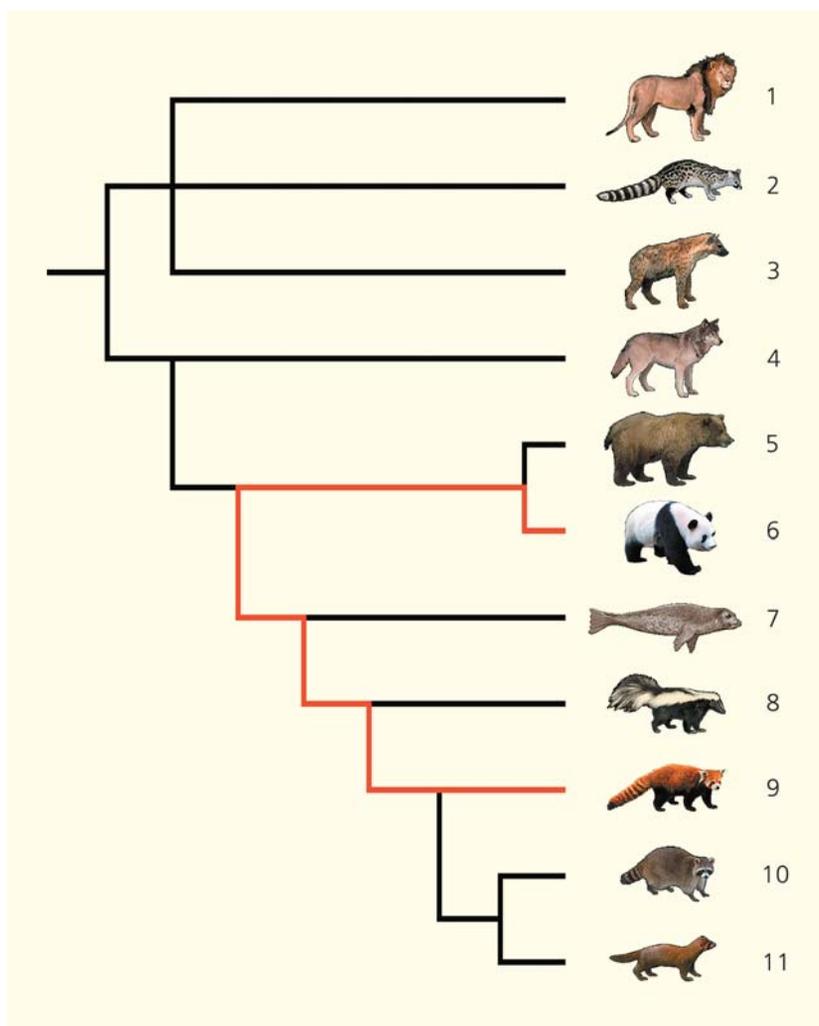
Древняя история

За яркими различиями во внешности двух видов панд кроется много сходств в их анатомии, физиологии и экологии. Это нагнетное сходство, обусловленное одинаковым рационом питания (в основном бамбуком), затрудняет выяснение родст-

венных связей панд. Не помогает и сравнение их с другими ныне живущими хищными млекопитающими. В те далекие времена, когда панды встали на свой особый эволюционный путь, современные признаки основных семейств хищных еще до конца не оформились, и потому у панд они не выражены. Судя по палеонтологическим данным, малые панды образуют самостоятельную группу хищников, очень рано отделившуюся от куньих, если понимать куньих в самом



Большая (слева) и малая панды (<http://www.flickr.com>).

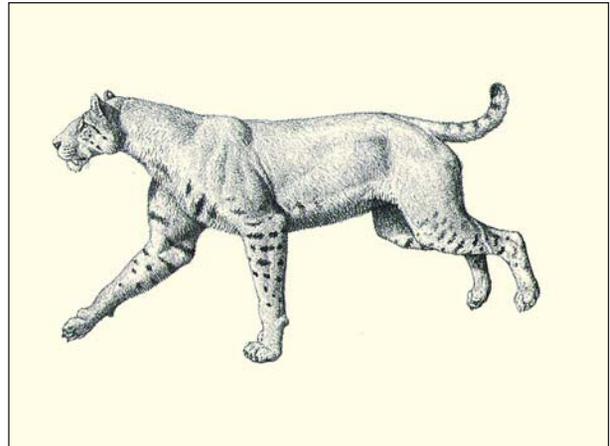


Эволюционное древо современных хищных млекопитающих по данным молекулярной генетики [1, 2]. 1 — кошачьи, 2 — виверры и мангусты, 3 — гиеновые, 4 — псовые, 5 — медведи, 6 — большая панда, 7 — ластоногие, 8 — скунсы, 9 — малая панда, 10 — енотовые, 11 — куньи. Красной линией выделена родственная связь между большой и малой пандами.

широком смысле, включая в их состав предков малых панд и енотов.

Родственные связи панд стали проясняться только в XXI в., когда был сделан сравнительный анализ нескольких сегментов митохондриальной и ядерной ДНК у широкого спектра современных хищных млекопитающих [1, 2]. Из существовавших ранее предположений о родстве большой панды либо с енотами, либо с медведями подтвердилось второе: она оказалась хоть и примитивным, но медведем. Малая же панда — совсем не медведь, правда, и не енот. По генетическому происхождению она находится где-то между енотами и куньими, с одной стороны, и скунсами — с другой. Между прочим, такая обособленность скунсов от настоящих куньих стала для биологов еще большей неожиданностью, чем двух наших главных героев друг от друга.

Хотя кости малых панд попадают в руки палеонтологов очень редко, известно, что предки современной малой панды — параилурусы (*Parailurus*) — жили в начале плиоценового периода (около 4.5 млн лет назад). Их находят среди остатков русцинийской фауны млекопитающих, распространенной в те времена в субтропической и умеренной зоне Западной Европы, но отнюдь не в Азии. Среди

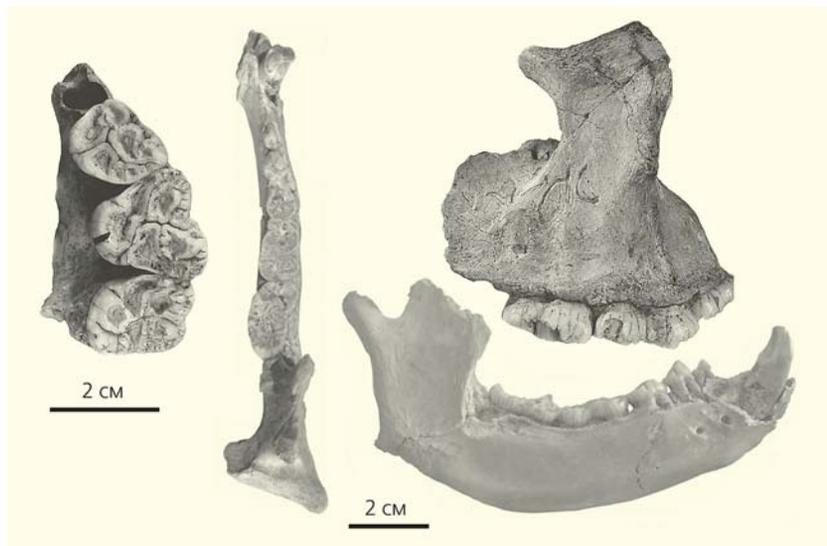


Представители русцинийской фауны: авернский мастодонт (слева) из Европы [9] и гомотерий из Евразии и Африки [10].

животных этого сообщества были разнообразные олени, жирафы, древние лошади гиппарионы, мастодонты, саблезубые кошки и мартышкообразные обезьяны. Все они были лесными животными, и древние малые панды-параилурусы, видимо, тоже. По строению зубов они не очень сильно отличались от современных малых панд (*Ailurus*). Плоские зубы с большим количеством бугорков недвусмысленно указывает, что бамбук уже был основной их пищей.

В Азии остатки параилуруса обнаружены пока только в Забайкалье, в местонахождении Удунга [3]. Там же нашли кости мастодонтов, оленей, антилоп, носорогов, гиппарионов, рысей, саблезубых кошек и предков современных обезьян ринопитеков (*Rhinopithecus*). Возраст Удунги приблизительно 3,5 млн лет, что на миллион лет ближе к нашему времени по сравнению с пандами-параилурусами из Европы. Похоже, эволюция параилурусов началась в Европе, а потом они переместились в Азию. Тогда, в середине плиоценового периода, огромные территории на востоке Азии, в том числе и в забайкальских предгорьях, были заняты листопадными и смешанными лесами, в которых росло довольно много теплолюбивых реликтов.

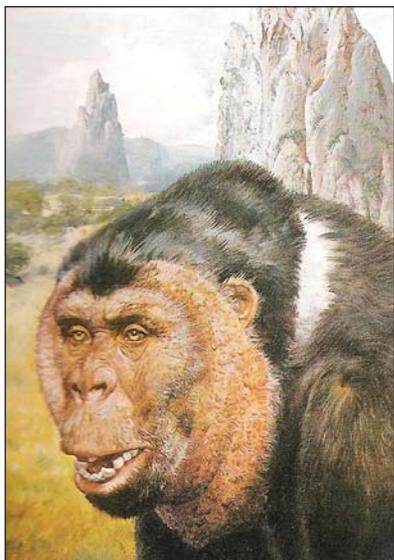
Дальше в истории малых панд идет пробел продолжи-



Фрагмент черепа и нижняя челюсть плиоценовой малой панды из местонахождения Удунга (Забайкалье) [3].



Портрет самца рокселланова ринопитека (<http://www.flickr.com>).



Портрет самца гигантопитека [11].

тельностью больше 2 млн лет. В Европе за это время они навсегда исчезли вместе с древней плиоценовой фауной, а в Азии постепенно превратились из древних параилурусов в малых панд.

Древнейшие, относящиеся к середине плейстоценового периода (более 500 тыс. лет назад), останки рода *Ailurus* обнаружены на юге Китая, в провинции Юннань, в пещере Гондвалинг. В это время Центральный и Южный Китай были прибежищем слонов стегодонов (*Stegodon*), азиатских тапиров, длинношерстных обезьян ринопитеков,

континентального вида человекообразных обезьян орангутанов и их огромных (массой до 300 кг) родственников гигантопитеков (*Gigantopithecus blaki*) [4], переставших лазать по деревьям, а также (что для нас самое интересное) больших панд (*Ailuropoda*). Эту фауну лесных млекопитающих, просуществовавшую в Южном Китае с середины и до конца плейстоценового периода, так и называют стегодонтово-аилуруподной — по родовым латинским названиям двух наиболее обычных ее представителей.

О том, какими были те южнокитайские леса, где полмиллиона лет назад пересеклись судьбы малой и большой панд, красноречиво свидетельствует то обстоятельство, что некоторые из их соседей — гигантопитеки и ринопитеки — тоже питались бамбуком. Для его перемалывания их зубы приобрели сходное строение — мощные коренные с очень толстой эмалью и широкой бугорчатой поверхностью. Во всех местонахождениях, где обнаружены гигантопитеки и ринопитеки, есть также и большие панды. Эти едоки бамбука, тогда широко распространенные в Южном Китае, скорее всего, были многочисленны. До наших дней не дожили только гигантопитеки, а обеих панд и ринопитеков [5] можно встретить и сегодня.

История большой панды в отличие от малой, постепенно менявшейся в течение не менее 5 млн лет, раза в три короче [6]. От остальных медведей большая панда отделилась, по мнению Д.Д.Девиса, необычайно резко (в интервале 1.5—1.2 млн лет назад) [7]. Предполагается, что ее древний сородич, который был приблизительно в два раза мельче (около 50 кг), мог появиться еще в начале плейстоценового периода, но по-настоящему многочисленным стал около полумиллиона лет назад. Питание бамбуком столь сильно сказалось на строении черепа и зубной системы больших панд, что у них осталось мало общего с «нормальными» медведями. Собственно говоря, эти отличия и стали источником для долгих сомнений зоологов в медвежьей сущности большой панды, которую теперь предлагают выделять в отдельное подсемейство.

Первые знакомства

Неформальное знакомство человека с пандами началось не менее 400 тыс. лет назад. В одной из пещер на севере Вьетнама в отложениях этого возраста кости большой панды были найдены рядом с зубами азиатского человека прямоходящего (*Homo erectus*). В Китае широколист-



Череп (вид со стороны неба) и нижние челюсти малой и большой панд из коллекции Зоологического музея МГУ.

венные и смешанные леса с бамбуковым подлеском тогда были распространены не только в горных массивах, как сейчас, а гораздо шире. На более поздних пещерных стоянках человека тоже регулярно попадают останки большой панды, а иногда и малой [8]. Можно предположить, что теплый мех в сочетании с вялым характером делал этих животных желанной и легкой добычей для охотников каменного века.

С окончанием ледникового периода (около 10 тыс. лет назад) бамбуковые леса остались только в горных районах Южного Китая и Тибета. Слоны, стегодоны, гигантопитеки и многие другие древние млекопитающие к тому времени уже вымерли, но панды и обезьяны ринопитеки продолжают существовать и в настоящее время.

Официальное знакомство людей и панд состоялось еще на несколько тысяч лет позже. Большая панда вошла в культуру Китая как символ могущества и храбрости задолго до нашей эры. По-видимому, именно она упоминается под именами Пи и Пиксиу в «Книге Истории» и «Книге Песен», написанных мудрецами Западной династии Чоу как минимум 3 тыс. лет назад. В более поздних переложениях «Книги Песен» также описывается некий белый медведь Зу-Йи, он же Бай-Ху. По свидетельству древнекитайских историков, большая панда ценилась в императорском саду редких животных Западной династии Хан (конец II в. до н.э.) превыше всех экспонатов. Примерно в те же времена череп большой панды был даже помещен в гробницу императрицы Бо, и это уже не письменное свидетельство, а археологический факт.

Китайцев, вероятно, издревле завораживала ни с чем не сравнимая раскраска большой панды. Вот что гласит объясняющая ее происхождение легенда, где фигурируют персонажи Да-Ксионь-Мао (в переводе с китайского — большая медвежья кошка).

Давным-давно в долине Во-лонь жила вместе со своей семьей юная пастушка. Всегда, когда она угоняла овец в горы, к стаду присоединялась молодая Да-Ксионь-Мао. Наверное, она принимала овец за родичей, потому что в те времена все Да-Ксионь-Мао были совсем белыми. Однажды случилось так: юная Да-Ксионь-Мао только-только пришла в гости, и вдруг на нее с дерева прыгнул леопард. Бесстрашная пастушка схватила палку и стала колотить хищника. Да-Ксионь-Мао убежала, но леопард набросился на девушку и растерзал ее.

Прослышав об этом, все Да-Ксионь-Мао до единой пошли на похороны пастушки, вымазав в знак траура все четыре лапы пеплом — таков уж был обычай. У могилы они не смогли сдержать своего горя, стали плакать и тереть лапами глаза, оставляя вокруг них черные круги. Они стали для утешения обниматься за плечи, пачкая друг друга спины. Но все равно они рыдали все громче и, чтобы не слышать собственных криков, стали затыкать уши, которые тоже сделались черными. С тех пор на их белой шкуре навсегда остались следы от выпачканных пеплом лап — на ушах, вокруг глаз и поперек спины.

Легенда в общем-то верная. Во-первых, молодые большие панды действительно входят в меню леопардов. Во-вторых, первый пушок у новорожденной большой панды сплошь белый, а черные пятна появляются на белом фоне лишь в месячном возрасте. Заметим, двухцветная окраска кажется броской только на первый взгляд, а среди припорошенных снегом камней и в гуще бамбука панда незаметна, в том числе и для леопарда.

Огненная малая панда, видимо, не пользовалась популярностью у китайских императоров и впервые упоминается в письменных источниках династии Чоу (XIII в.). Однако простой китайский народ издавна знал и ценил малую панду. Ее поло-

сатый хвост традиционно используют как метелку для пыли, а на крестьянских свадьбах в провинции Юннань жениху для счастья в браке совершенно необходима шапка из рыжего меха малой панды с обязательным хвостом, грациозно свисающим сзади.

Научное описание

В отличие от китайцев, европейцы первой открыли не большую, а малую панду. Британский генерал-майор Томас Хардвик, занимавший в начале XIX в. пост представителя Ост-Индской компании, был образованным человеком и увлеченным натуралистом. В 1821 г. он получил от директора Ботанических садов Ост-Индской Кампании, датского ботаника Натаниеля Уоллича, невиданную рыжую шкурку. Хардвик представил Лондонскому Линнеевскому обществу доклад о проживающем в Гималаях зверьке, неизвестном ранее европейской науке. Из трех местных непальских названий — *нигалья пунья*, *читуа* и *уа* (последнее отражает характерный крик животного) в европейском обиходе закрепилось самое длинное, в котором *нигалья* значит «бамбук», *пунья* — «едок», а все вместе переводится как «едок бамбука». Позже *нигалья* отпало, а оставшееся *пунья* англоизировалось и стало звучать *панда*, т.е. просто «едок». О существовании еще и «большого едока» в Европе тогда еще не подозревали.

Отдельная история вышла с латинским названием малой панды. Пока английский генерал Хардвик задерживался с возвращением из Индии вместе с бесценной рыжей шкуркой, два известнейших французских зоолога Жорж Кювье и Этьен Жоффруа Сент-Илер в 1825 г. опубликовали совместную работу с описанием панды. Они и дали этому животному первое латинское название, которое по правилам приоритета уже нель-

зя поменять. Британские коллеги, ущемленные французами в правах первооткрывателей, были возмущены. Однако вероломные французы дали зверьку очень меткое название *Ailurus fulgens* (в переводе с латыни — «кошка огненная»). Более того, Кювье, величайший анатом, судил животных не только по внешности и очень прозорливо отнес *Ailurus* не к кошкам, а к енотам.

«Огненная кошка Кювье» оставалась для Европы единственной пандой почти полвека — до второй половины XIX в., когда в Сычуань прибыл французский миссионер-иезуит Арман Давид. Он тоже был натуралистом, подобно английскому генералу Хардвику. Однажды миссионер увидел в доме охотника Ли удивительную большую черно-белую шкуру. Вскоре любознательному европейцу охотники принесли и само животное. Миссионер сразу подметил сходство невиданного зверя с медведями, назвав *Ursus melanoleuca*, в переводе с латыни — «медведь черно-белый». Чтобы срочно застолбить это название в публикации, Давид отправил краткое описание внешности животного своему известному соотечественнику, зоологу Мильн-Эдвардсу. Но тот медлил с публикацией до тех пор, пока не получил из Китая законсервированный экземпляр животного.

Наконец в 1870 г., взглянув на него собственными глазами и изучив внутреннее строение, Мильн-Эдвардс выявил у черно-белого зверя больше сходств не с медведями, а с «огненной кошкой Кювье». Жевательные мышцы и череп как малой, так и большой панды необычайно усилены, а все зубы позади клыков более широкие и плоские, чем у медведей. Подошвы лап обоих животных сплошь покрыты волосами; среди медведей такое встречается только у полярного белого. В итоге Мильн-Эдвардс решил оставить видовое название *melanoleuca*, предложенное миссионером, но родо-

вое — придумал свое. Так и получилось существующее поныне официальное название *Ailuropoda melanoleuca*. Перевести с латыни его можно примерно так — с лапами как у кошки Кювье, черно-белая. Следуя логике и вслед за великим Кювье, причислившим «огненного едока» из Непала к енотам, Мильн-Эдвардс отнес черно-белого зверя к той же группе. Попутно к нему приклеилось и обиходное европейское название — панда, с пометкой большая, а огненная, естественно, стала малой.

Теперь, после многих десятилетий зоологических баталий, можно сказать, что Мильн-Эдвардс все-таки недооценил сходство большой панды с медведями и переоценил аналогии с малой пандой. Прав оказался миссионер-иезуит.

Сходства и различия

Бамбук, который в рационе обеих панд составляет 95%, — гигантский злак, еще более грубый и трудный для переваривания, чем сено или солома из любой другой травы. В его стеблях и даже листьях содержатся не только волокна из клетчатки (целлюлоза), но и кремнистые включения. Гигантской траве это необходимо для механической прочности — чтобы стоять вертикально. Для панд же в связи с этим питание — тяжелая работа, превратившая их челюсти в мельницу, при этом камер длительного брожения для дальнейшей химической обработки пережеванной клетчатки в их кишечнике так и не возникло.

У жвачных парнокопытных, кенгуру, ленивцев и бамбуковых лемунов бродильные камеры образовались перед желудком. У грызунов, зайцеобразных, коал, горилл и лошадей брожение происходит в увеличенной многосекционной слепой кишке толстого кишечника. Процесс идет долго и тщательно. Например, через пищеварительный тракт лошади пища проходит за

двое суток, коровы — за четверо, а ленивца — за неделю. Поскольку у панд подобных усложнений кишечника нет, задержки, связанной с брожением, не происходит и пища проходит намного быстрее: например, у малой панды — всего за шесть часов. Разумеется, эффективность переваривания при этом ниже.

В результате пандам удается извлечь из проглоченной еды не более 25% питательных веществ, а зимой, когда нет свежих листьев и побегов бамбука, — и того меньше. Поэтому им приходится тратить на кормежку половину суток (обычно — ночь), прогоняя через себя со страшной скоростью огромные массы пищи. Суточная норма составляет около 30% собственной массы тела, что для большой панды достигает 40 кг. Говоря сельскохозяйственным языком, панды обрабатывают урожай экстенсивным способом, тогда как обладатели бродильных камер — интенсивными.

На физиологии большой и малой панд сказываются их размеры: у каждой из них есть свои преимущества и недостатки. Объяснить это можно простым соотношением поверхности и объема у геометрически подобных тел, каковыми в грубом приближении можно считать двух едоков бамбука. У большого тела меньше площадь поверхности кишечника, деленная на его емкость, но точно так же меньше и площадь поверхности тела, деленная на его общий объем. Следовательно, большая панда проигрывает по скорости всасывания пищи, а выигрывает по скорости утечки тепла. В плюс ей идет и то, что у более крупных животных ниже уровень обмена веществ, а значит и потребность в пище. Это общий закон, и малой панде пришлось его нарушить: у нее особым образом понижена общая интенсивность обмена веществ — почти как у ленивца. Однако даже несмотря на эту уловку малой панде приходится

более придирчиво выбирать молодые листья и побеги бамбука, где больше сладкого сока. Это свидетельствует о том, что все плюсы и минусы в сумме делают ее жизнь все-таки дороже, чем у большой. Возможно, последняя капля — угроза со стороны леопарда. Большую панду отчасти защищает размер, а малой приходится больше перемещаться по деревьям, затрачивая дополнительную энергию и проявляя недюжинную ловкость. Она даже приспособилась спускаться по стволу вниз головой, как енот, тогда как большая панда неуклюже пятится по-медвежьи.

За исключением всех этих нюансов, жизнь двух панд, приспособившихся к питанию бамбуком, как будто причесана под одну гребенку. Несмотря на двадцатикратную разницу в весе, площадь их индивидуальных участков — около 5 км². Если не знать про прокрустово ложе из бамбука, могло бы показаться, что для пятикилограммового зверя это слишком много, а для стокилограммового — слишком мало. Скудость корма на фоне холодного климата не позволяет тратить много энергии на перемещения по участку. В связи с этим панды весьма флегматичны и стараются питаться, сидя или лежа на месте и только подгребая лапами бамбук ко рту. Например, малая панда проходит по своему участку всего-навсего 200—300 м в сутки.

Густой мех, покрывающий даже подошвы лап, тоже нужен для сбережения драгоценной энергии. Примечательно, что белый медведь обзавелся таким же приспособлением в условиях жестоких заполярных морозов, тогда как в угодьях панд температура редко опускается ниже +10°C. Значит, каждая калория у них действительно на вес золота. Зимой большие панды спускаются на более низкие участки предгорий, где теплее. Казалось бы, холодный и бескормный сезон было бы лучше пережить в спячке, как

это делают медведи и еноты. Однако на накопление жировых запасов осенью пандам не хватает еды.

Труднее всего пандам приходится в период выращивания потомства. Малые панды спариваются в январе—марте, а большие — примерно на два месяца позже. Дальше графики беременности удивительно схожи: длится она от трех до пяти с половиной месяцев (у малой панды от 90 до 160 дней, у большой — от 95 до 165), при этом зародыш развивается только в последние 50 дней. До этого плод даже не прикрепляется к стенке матки. Задержка (диапауза) беременности позволяет варьировать время родов так, чтобы они проходили в оптимальных погодных условиях и при обилии бамбука. Надо сказать, что для стокилограммового зверя указанный срок беременности в порядке вещей, но для пятикилограммового на редкость долог. Это тоже следствие ограниченного рациона питания.

Обе панды рожают чаще двойню, причем их детеныши практически не различаются размером — чуть более 100 г.

И тут обратная ситуация: для пятикилограммового зверя такой размер новорожденных вполне нормален, а для стокилограммового — фантастически мал. Ни у кого больше из плацентарных млекопитающих нет такой чудовищной диспропорции матери и детеныша, как у большой панды.

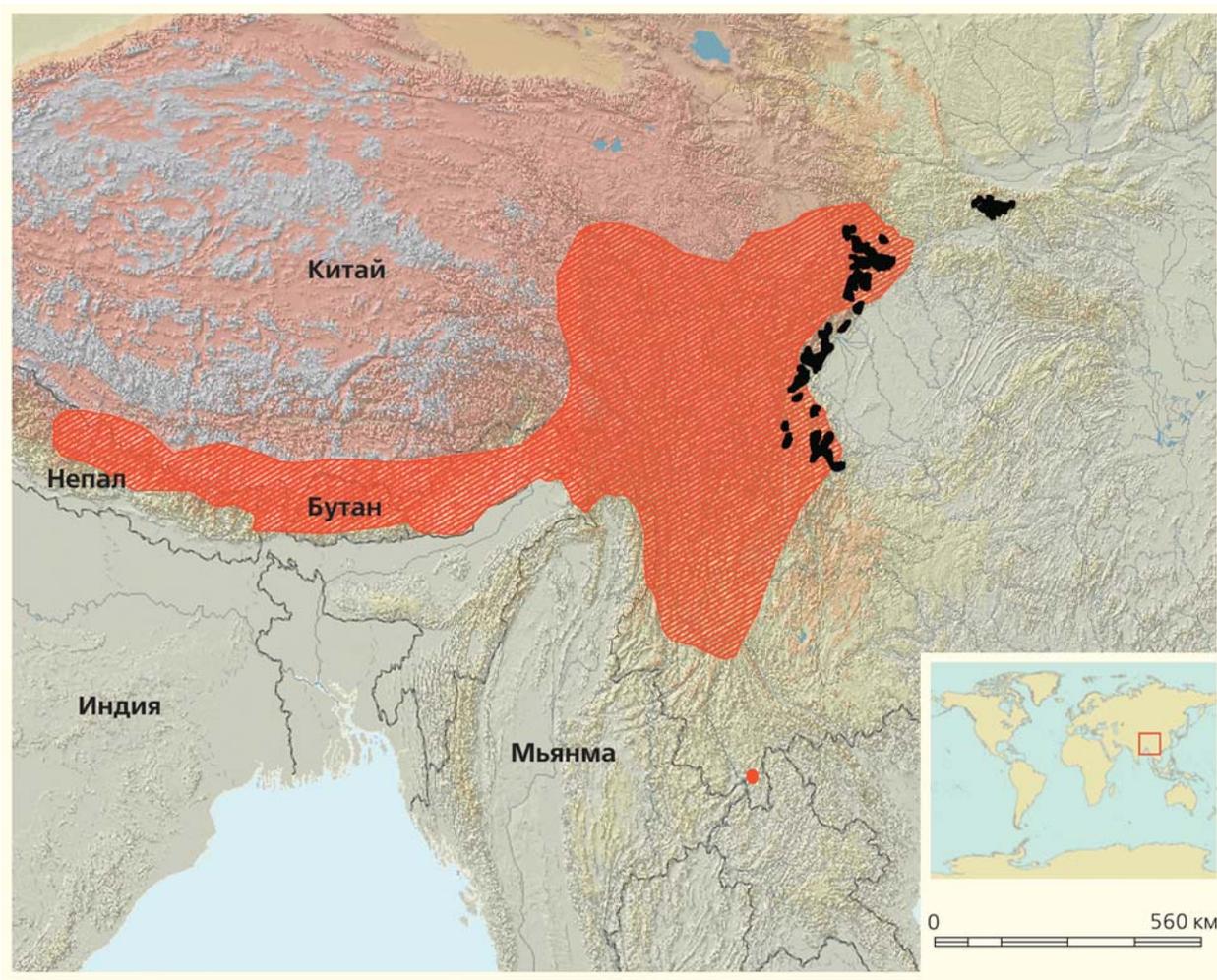
Со вскармливанием потомства гораздо лучше справляется малая панда. Отчасти это объясняется тем, что она умудряется в этот период съесть каждые сутки чуть ли не столько, сколько весит сама, а отчасти — тем, что потомству большой панды требуется быстрее наращивать вес. В результате малой панде чаще удается выкормить обоих, а большой обычно под силу вырастить только одного детеныша. В довершение всего малая панда успевает освободиться от молодняка для размножения уже в следующем году, а самка большой панды год пропускает. Редкая самка большой панды успевает за свою жизнь поставить на ноги более пяти отпрысков.

Итоги этой стратегии размножения таковы:

— в годовалом возрасте малая панда уже живет самостоя-



Большая панда родила рекордного — двухсотграммового — детеныша (<http://www.flickr.com>).



Современные ареалы малой (красный цвет) и большой (черный цвет) панд (<http://www.iucnredlist.org>).

тельно, а большая только-только заканчивает питаться материнским молоком;

— в возрасте полутора лет малая панда уже приносит потомство, тогда как большая делает это впервые только в шесть лет. Правда, и жизнь ее примерно на столько же лет длиннее. Но ведь и рождает она вдвое реже, и вскармливает обычно лишь одного из двух. В результате прирост популяции большой панды вдвое ниже, чем малой.

Коварство бамбука

У бамбука тоже свои причуды, оказывающие огромное воздействие на всех от него зависящих животных. Прорастание семян

занимает два-три года, причем на вырубках всхожесть ниже, чем под сенью леса. Взросшему бамбуку требуется для хорошего прироста много воды — 3.5 м осадков в год. Иногда, в особо удачный летний день, побеги дают прирост до 75 см и в итоге могут достичь высоты 35 м. Попутно идет вегетативное размножение — посредством подземных корневищ, образующих обширные куртины. Несмотря на столь бурный рост, цветения и плодоношения не происходит несколько десятков лет. Но однажды все растения одного посева начинают колоситься, затем сбрасывают семена и погибают — в один и тот же год! Гибель бамбукового подлеска охватывает всю территорию,

которая была засеяна в один год, причем иногда — очень обширную. Через некоторое время появляется следующая волна бамбуковых всходов — как после пожара.

Таким образом, пандам, которые не едят ничего другого, приходится периодически, после гибели бамбуковых зарослей, совершать вынужденные миграции в поисках мест, где бамбуковый посевной цикл находится в фазе роста. Иногда с опустошенных площадей им просто некуда уйти, потому что везде вокруг лес был повален человеком, а на вырубках, напомним, всхожесть бамбука хуже, чем в лесу. От такой безысходности в 1974—1975 гг. в Сычуане погибло около 140 боль-

ших панд. Голодная смерть — не единственная опасность. По мере раздробления вырубками девственных угодий с бамбуком обитатели разных островков леса теряют возможность встретиться и оставить потомство. Как же панды попали в столь уязвимую ситуацию?

Дело в том, что эволюция панд проходила в те далекие времена, когда дождевым лесам с бамбуком не было видно конца и края. Эволюция не может предвидеть будущее, и естественный отбор «дал пандам добро» на бамбуковый пищевой рацион — редчайший случай столь узкой пищевой специализации среди млекопитающих. Таким образом, главная угроза будущему панд возникла в тот самый момент, как они стали самими собой — едоками бамбука.

Численность панд всегда зависела от площади бамбуковых угодий, т.е. прохладных и влажных хвойно-лиственных лесов с подлеском из рододендрона и бамбука. В периоды оледенения эти леса спускались в долины, и территория панд увеличивалась, а при потеплениях долины зарастали субтропическими лесами, отесняя бамбук и панд к сжимающимся ледяным шапкам на горных вершинах. Именно поэтому в последние 10 тыс. лет угодья панд ограничиваются высотами от 1 до 4 км над ур.м.

От былой территории распространения малой панды осталась довольно узкая полоса, тянущаяся на тысячу километров с запада на восток по предгорьям Гималаев от Непала до Китая, а внутри Китая сохранилась более обширная область в провинциях Сычуань и Юн-

нань и маленькая отдельная резервация у границы с Лаосом. В общей сложности природные популяции сейчас насчитывают около 10 тыс. особей. Ареал большой панды за последние 2 тыс. лет сократился в 10 раз и теперь ограничен узкой полосой предгорий в Сычуане вдоль восточной границы территории малой панды. Развитие цивилизации и рост народонаселения привели к массовым рубкам лесов под пашни и пастбища, в результате чего территория большой панды раздробилась на отдельные резервации, где осталось всего около 1.5 тыс. животных. Обнадеживает то, что численность популяции остается достаточно стабильной последние 30 лет. Кроме того, достигнуты некоторые успехи в размножении этого животного в неволе. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-04-00483.

Литература

1. Flynn J.J., Nedbal M.A., Dragoo J.W., Honeycutt R.L. Whence the Red Panda? // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2000. V.17. P.190—199.
2. Sato J.J., Wolsan M., Minami S. et al. Deciphering and Dating the Red Panda's Ancestry and Early Adaptive Radiation of Musteloidea // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2009. V.53. P.907—922.
3. Ogino S., Nakaya H., Takai M. et al. Mandible and Lower Dentition of *Parailurus baikalicus* (Ailuridae, Carnivora) from Transbaikal Area, Russia // *Paleontological Research*. 2009. V.13. №3. P.259—264.
4. Трофимов Б.А., Мащенко Е.Н. Самые крупные обезьяны Земли — гигантопитеки // *Природа*. 1999. №12. С.38—48.
5. Мащенко Е.Н. Самый северный примат Азии // *Природа*. 1994. №1. С.64—70.
6. Jin C., Ciochon R.L., Dong W. et al. The First Skull of the Earliest Giant Panda // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2007. V.104. №26. P.10932—10937.
7. Davis D.D. The Giant Panda: a Morphological Study of Evolutionary Mechanism // *Fieldiana Zool. Mem.* 1964. V.3. P.1—339.
8. Chen D.Z., Qi G. Human Remains and Mammals Accompanied in Xi Chuo, Yunnan // *Vertebrata Palasiatica*. 1978. V.16. P.35—46.
9. Engesser B., Fejfar O., Major P. Das Mammut und Seine Ausgestorbenen Verwandten // *Veröffentlichungen aus dem Naturhistorischen Museum Basel*. 1996. B.20. P.1—188.
10. Augusti J., Anton M. Mammoths, Sabertooths and Hominids: 65 Million Years of Mammalian Evolution in Europe. N.Y., 2002.
11. Zaruba B., Burian Z. Otisky èasu s obrazy Zdeòka Buriana. Praha, 1997.

Вести из экспедиций Российская археологическая экспедиция в Гизе

С.Е.Малых,

кандидат исторических наук
Институт востоковедения РАН
Москва

Высший совет по делам древностей Министерства культуры Египта выдал в 1995 г. открытый лист на проведение в этой стране раскопок. Зоной работ был выбран некрополь Гизы — памятник мирового значения, к жемчужинам которого относятся три великих пирамиды царей Хуфу (у греков — Хеопса), Хафра (Хефрена) и Менкаура (Микерина), правивших в эпоху Древнего царства. Так начались работы Российской археологической экспедиции в Гизе (РАЭГ) под руководством доктора истори-

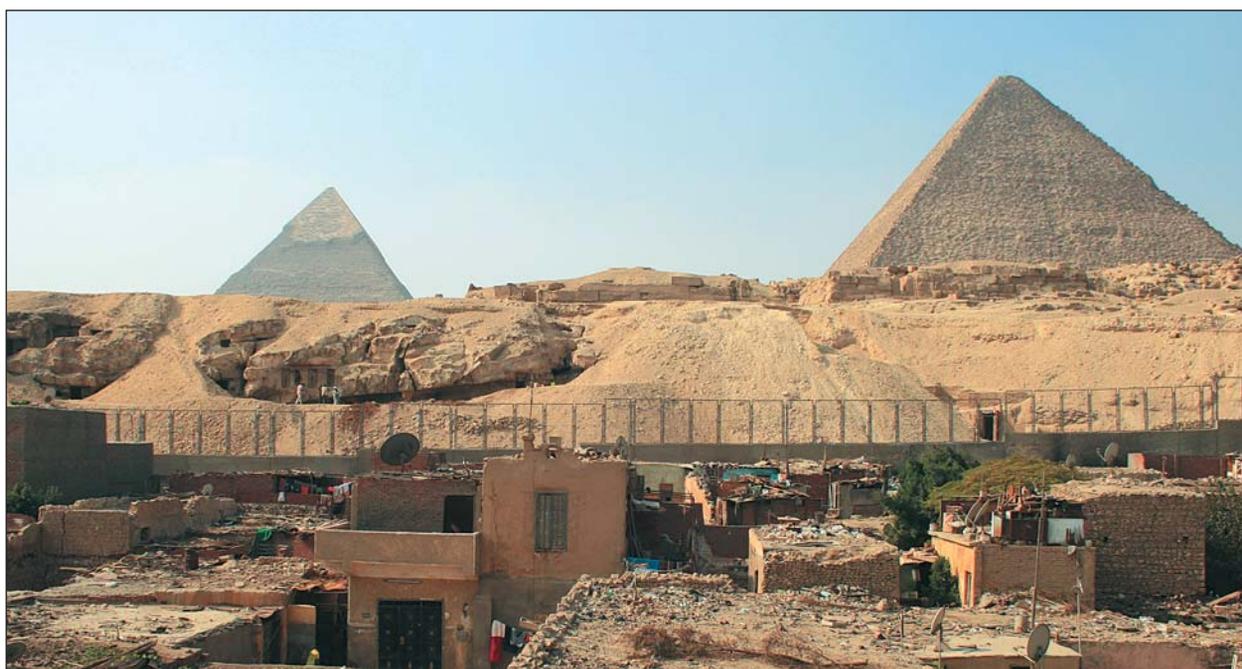
ческих наук Э.Е.Кормышевой (Институт востоковедения РАН).

Первоначально в задачи экспедиции входило комплексное изучение гробницы Хафраанха, вырубленной на восточном краю скального плато Гизы и принадлежавшей начальнику заупокойных жрецов пирамиды царя Хафра, чье имя в переводе с древнеегипетского означает «да живет Хафра». Эта гробница стала известна ученым в середине XIX в., когда ее посетила прусская экспедиция во главе с Карлом Рихардом Лепсиусом, и в 1849 г. были опубликованы прорисовки рельефов гробницы и ее краткое описание в мас-

штабном труде «Памятники Египта и Эфиопии» [1. S.91—94].

Необходимо сказать, что гробница эпохи Древнего царства (правление IV—VIII царских династий, 3-е тысячелетие до н.э.) имеет достаточно сложную архитектуру: она состоит из верхнего культового помещения — часовни, где какое-то время после смерти владельца гробницы отправлялся его поминальный культ, и подземных помещений — вырубленных в скале шахт, ведущих в погребальные камеры — места захоронения владельца гробницы и его родственников. Поминальная часовня украшалась цветными рельефа-

© Малых С.Е., 2010



Вид на некрополь Гизы и участок работ Российской археологической экспедиции в 2009 г.

Фото С.В.Малых

ми или росписями, в то время как подземные части оставались недекорированными. Именно рельефы, к тому времени уже почти полностью утратившие свой цвет, увидел и опубликовал Лепсиус. На восточной стене изображены Хафраанх и его брат Итети (см. четвертую страницу обложки), а также сельскохозяйственные сцены: сбор урожая, выпас скота, ловля рыбы. Из-за многочисленных рисунков ослов, быков, коз и баранов с указанием их количества этот памятник получил название «Гробница чисел». На южной стене за столом с жертвенными подношениями сидят Хафраанх и его супруга Херенка, а под скамьей — одна из трех его дочерей, Уретка. Западная стена оформлена в виде серии ложных дверей, позволявших «двойнику» владельца гробницы условно выходить из загробного мира в часовню и питаться продуктами,

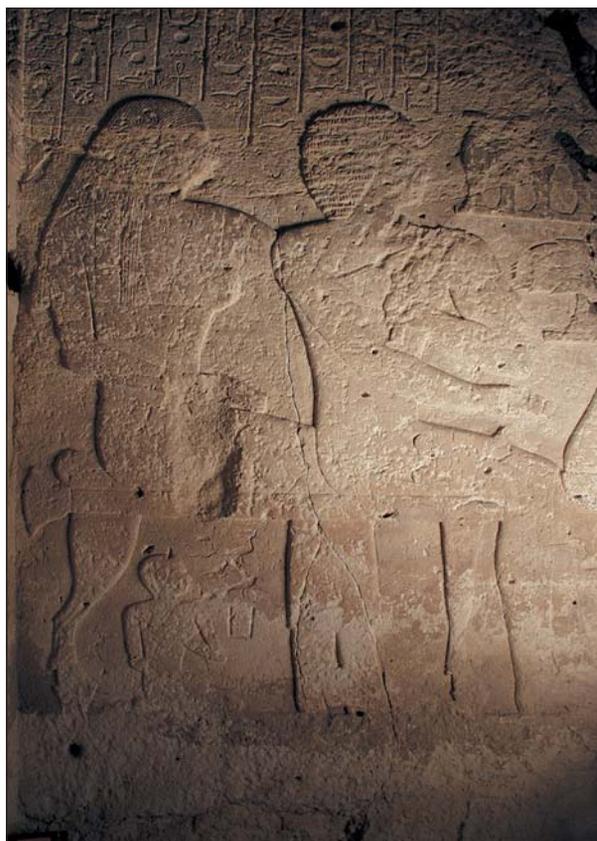


Западная стена гробницы Хафраанха.

Здесь и далее фото С.В.Ветохова



Фрагмент западной стены гробницы Хафраанха с серией ложных дверей.



Фрагмент южной стены гробницы Хафраанха. Хафраанх и его жена Херенка.



Георадарное обследование В.В.Копейкиным и П.С.Воровским территории российской концессии в Гизе. 2008 г.

Фото С.Е.Малых



Процесс раскопок южной части российской концессии. 2006 г.

Фото С.В.Ветохова

приносимыми жрецами. Здесь же находится скульптурное изображение Хафраанха, выполненное в технике глубокого рельефа, однако сильно разрушенное еще во времена Лепсиуса.

Поскольку копии Лепсиуса имели ряд неточностей, в задачи российских ученых входило но-

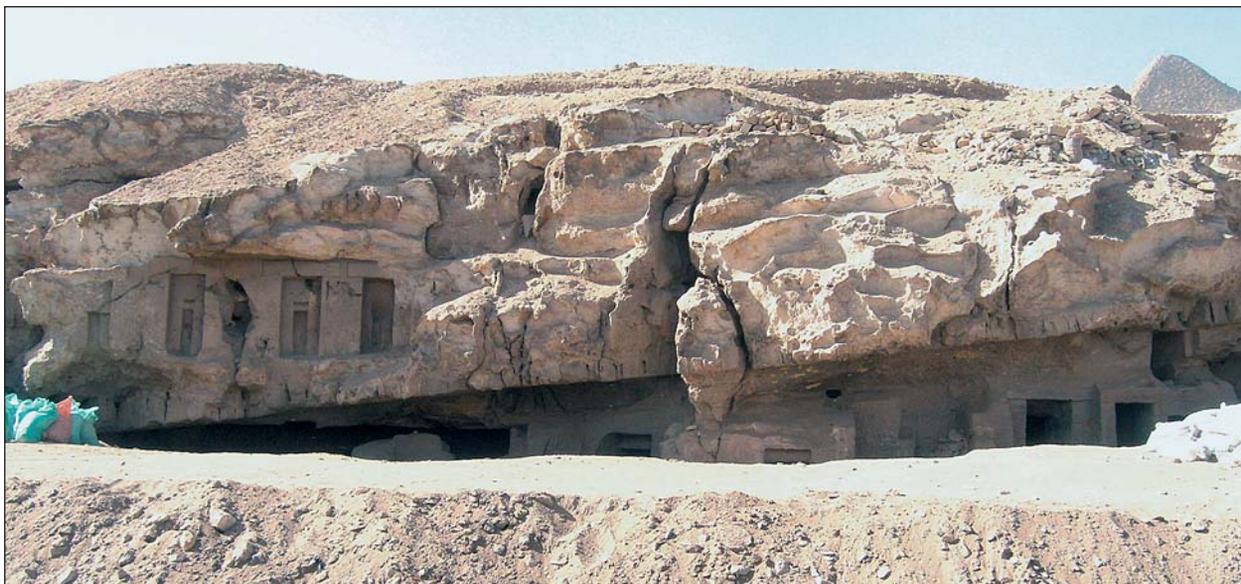
вое копирование декора гробниц, а также археологическое изучение нераскопанных шахт и погребальных камер, съемка архитектурного плана и датировка гробницы. На это ушло три полевых сезона (1996—1998), во время которых принимали участие как сотрудники

Института востоковедения РАН (Э.Е.Кормышева, Т.А.Баскакова, М.А.Чегодаев) и Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (О.В.Томашевич), так и зарубежные специалисты (египтолог Й.Дорнер из Австрийского археологического института, керамист С.Маршан и литолог М.Висса из Французского института восточной археологии в Каире). Впоследствии чертежи и рисунки неоднократно перерабатывались, и в итоге экспедиционным архитектором С.В.Ветоховым были созданы точные копии рельефов и архитектурные планы всего некрополя. Выяснилось, что гробница датируется правлением не IV (как думал Лепсиус), а V династии и что Хафраанх был служителем культа давно умершего царя. Как свидетельствуют надписи, в трех погребальных камерах похоронены сам Хафраанх, его жена Херенка и дочь Ишепет вместе со своим супругом Херимеру [2]. В загробный мир Хафраанха сопровождала посуда, причем как современная ему, так и более ранняя, относящаяся к первой половине правления IV династии (в том числе амфора для вина, привезенная из Па-



Южная стена гробницы Пер-сенеба.

Фото С.Е.Малых



Южная часть российской концессии в Гизе. 2007 г.

Фото С.Е.Малых

лестины). Все погребения были разграблены еще в древности, а их инвентарь либо исчез, либо оказался разбитым, как случилось с глиняными сосудами. В середине 1-го тысячелетия до н.э. погребальную камеру Хафраанха использовали вторично для нового захоронения, которое впоследствии тоже было уничтожено грабителями, а на долю археологов остались лишь несколько костей и разбитая амфора «торпеда», привезенная из Финикии.

Кроме того, скальная гробница Хафраанха подверглась архитектурным преобразованиям, определить точное время которых крайне затруднительно; можно только сказать, что произошло это, видимо, в конце эпохи Древнего царства. В процессе расширения гробницы уничтожили ее северную стену, на которой некогда был изображен Хафраанх, охотящийся на лодке в нильских зарослях; в появившемся пространстве устроили еще две камеры, чьи погребения тоже оказались разрушены.

В дальнейшем, особенно в византийское и раннее арабское время (IV—XI вв.), скальная гроб-

ница Хафраанха, как и многие гробницы в округе, использовалась местным населением для жилья, о чем свидетельствует толстый слой копоти на потолке.

В 1999 г. было принято решение исследовать участок перед гробницей, чтобы установить особенности функционирования этого культового памятника. В ходе раскопок обнаружили

некрополь конца IV—VI династий площадью около 500 м². Здесь находились три гробницы-мастабы*, сложенные из

* Мастаба (с араб. — каменная скамья) — древнеегипетская гробница 3-го тысячелетия до н.э. с наземной постройкой в форме усеченной пирамиды, в которой располагалась поминальная часовня, и шахтой, ведущей в подземную погребальную камеру.



Керамические сосуды из заполнения шахт и погребальных камер. Раскопки 2009 г.

Фото С.Е.Малых



Известняковые канопы и глиняный пивной кувшин из гробницы Хуфу-хотепа. 2008 г.

Фото С.Е.Малых



С.Е.Малых за обработкой керамического материала российской археологической экспедиции. 2008 г.

Фото С.В.Малых

сырцового кирпича, а также вырубленные в скале погребальные шахты и более простые погребения-склепы. За семь лет археологических работ удалось выявить шесть сооружений и 46 погребений, из них 12 непотревоженных, которые позволили реконструировать погребальный обряд небогатых египтян 3-го тысячелетия до н.э. [3], а также установить, что богатые гробницы Древнего царства служили своеобразным ядром для формирования малых некрополей, содержащих захоронения обедневших родственников и лиц, не имевших возможности построить для себя гробницы с часовнями и довольствовавшихся простыми могилами.

Антропологические исследования, предпринятые А.П.Бужиловой, М.В.Добровольской и

М.Б.Медниковой (Институт археологии РАН), позволили установить возраст погребенных, некоторые их патологии и заболевания (в частности, туберкулез позвоночника и лепру). Были выяснены особенности их питания и труда, повлиявшие на организм: так, вследствие употребления в пищу продуктов с песком происходил сильный износ зубов; переломы костей конечностей и следы больших нагрузок на организм говорят о том, что эти люди занимались тяжелым физическим трудом, например строительством сооружений из крупных камней.

По результатам проведенных нашей экспедицией работ Высший совет по делам древностей Египта принял решение расширить зону российской концессии, которая достигла 6100 м².

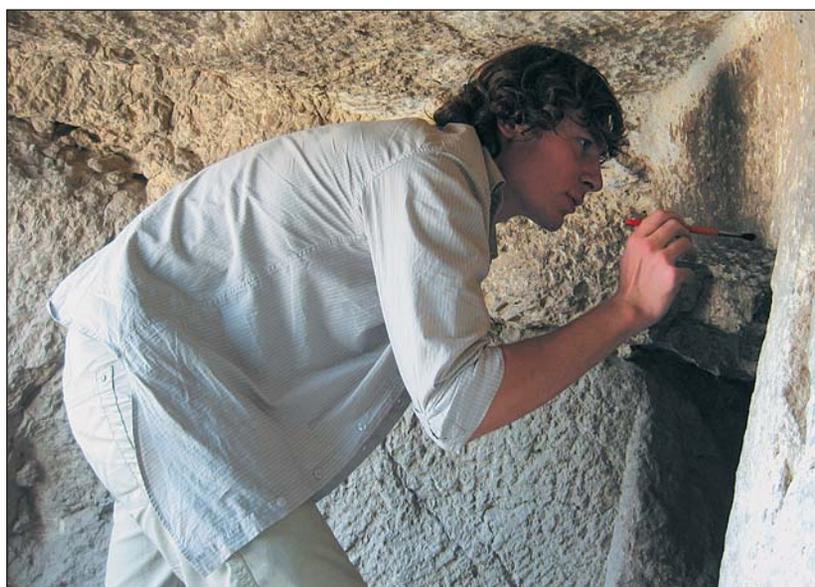
В 2006 г. российские египтологи получили возможность использовать для проведения разведок на территории Гизы георадар «Лоза-В», изобретенный учеными Института земного магнетизма и радиоволн (ИЗМИРАН). Так, благодаря работам геофизиков П.А.Морозова, В.В.Копейкина и П.С.Воровского удалось обнаружить рукотворные скальные полости, расположенные к югу от гробницы Хафраанха, на тот момент засыпанные несколькими метрами песка и щебня. При последующих раскопках найдены 37 археологических объектов различной степени сохранности: 18 скальных гробниц, три мастабы из сырцового кирпича и 16 одиночных погребальных шахт. Некоторые из гробниц и шахт были недоступны еще в древности, главным



Архитектор С.В.Ветохов в погребальной камере гробницы Ченти II. 2009 г.

Фото С.В.Малых

образом из-за обвалов или трещин материковой скалы. Другие представляли собой законченные архитектурные комплексы, украшенные надписями и рельефными изображениями. По ним удалось установить принадлежность этих сооружений придворным чиновникам и жрецам, жившим в эпоху правления V и VI царских династий: Ченти I, Ченти II, Хуфу-хотепу, Перинеджу, Пер-сенебу и Ипи. Некоторые из гробниц были известны по упоминаниям исследователей XIX в. — Р.Лепсиуса [1. S.94—96] и О.Мариетта [4. P.535—539], но впоследствии были утеряны, что объясняется масштабными раскопками на Западном и Восточном плато Гизы в начале XX в., когда мощные археологические отвалы засыпали отдельные группы гроб-



М.В.Лебедев в момент расчистки рельефов в скальной гробнице Нефер-сефехптаха. 2009 г.

Фото С.Е.Малых



Раскопки скальной гробницы Ченти I. 2008 г.

Фото С.Е.Малых

ниц, вырубленных на склоне скального плато. Соседние группы сохранились и получили у местных жителей прозвище Сен эль-Агуз (в переводе с арабского — Зубы Старика). Такое название весьма метко характеризует выветренный серо-бежевый скальный карниз, весь изрезанный отверстиями гробничных входов. Примечательно, что наиболее яркую гробницу из вновь обнаруженной группы, принадлежавшую придворному Ченти I и украшенную рельефами высокого качества исполнения, не видели ни Лепсиус, ни Мариетт. То же произошло и с гробницей Пери-неджу.

Археологическое исследование обнаруженных поминальных часовен позволило установить ряд моментов в истории существования памятников. Так, скальная гробница Ченти II эпохи поздней V династии перво-

начально имела классическую L-образную форму часовни с тремя шахтами, ведущими в погребальную камеру. Затем там было вырублено дополнительное помещение еще с двумя шахтами, в которых, по-видимому, захоронили родственников. В византийскую эпоху (395—641 гг.) эту гробницу стали использовать как жилое помещение: ее обитатели замазали рельефы смесью нильского ила и соломы; в одном из помещений соорудили очаг (потолок там покрыт толстым слоем копоти), а для строительства использовали сырцовые кирпичи из располагавшихся рядом построек эпохи Древнего царства.

Некоторые гробницы были обитаемы на протяжении длительного времени. Так, Лепсиус отмечает, что когда он обследовал погребальные сооружения восточной части Гизы, то обна-

ружил, что в гробнице Ипи жил «водонос Ибрагим». Возглавлявший в 1858—1880 гг. Египетскую службу древностей Мариетт писал, что во время осмотра памятников Гизы он несколько дней ночевал в гробнице придворного чиновника Пер-сенеба, а в соседней жили слуги самого исследователя. Следы, оставленные обитателями гробницы Пер-сенеба в виде вбитых в стену гвоздей, были видны и спустя полтора века — когда ее заново обнаружила наша экспедиция.

В эпоху Древнего царства владельцы мест захоронения не брезговали присвоением чужих памятников. Так, площадь уже упомянутой гробницы Пер-сенеба поздней V — VI династий была увеличена за счет присоединения к ней расположенной рядом более ранней гробницы, не имевшей надписей. В результате в ее южной стене был про-

бит проход, а в камерах совершены новые захоронения.

Как и в случае с местом упокоения Хафраанха, все захоронения упомянутых скальных гробниц были ограблены. Однако происходило это в разное время и, по-видимому, не единожды. Обо всем этом свидетельствует материал из заполнения шахт и погребальных камер, в первую очередь — фрагменты глиняных сосудов. Для меня, как для египтолога-керамиста и постоянного участника Российской археологической экспедиции в Гизе, находки подобного рода представляют особый интерес. В некоторых шахтах мы нашли большое количество поздней керамики 1-го тысячелетия до н.э., в других обнаруженный материал ограничивается только эпохой Древнего царства, но именно в этих случаях можно установить состав погребального инвентаря, сопровождавшего покойных в загробный мир. Так случилось с двумя погребениями в гробницах Ченти II и Хуфухотепа, в засыпке которых были найдены многочисленные фрагменты круглодонных чаш, цилиндрических подставок для них, кувшинов для хранения пива и форм для выпечки хлеба.

В погребальной камере, принадлежавшей, как нам представляется, Хенутсен — супруге Хуфухотепа (бывшей в то время жрицей богини Хатхор), в 2008 г. были обнаружены два целых сосуда-канопы, вырезанных из нуммулитового известняка, с полусферическими крышками и фрагмент третьего;

их форма характерна для второй половины V — VI династий. Набор из четырех найденных каноп служил для хранения остатков от бальзамирования, а также внутренностей покойного, вынутых при мумификации. Такие сосуды были обычны в эпоху Нового царства (середины — конца 2-го тысячелетия до н.э.). Однако для периода 3-го тысячелетия до н.э. они редки; связано это с тем, что обряд мумификации только начинал вводиться, а прежде многие тела покойных хоронились в скорченной позе незабальзамированными. За более чем столетнюю историю археологического изучения египетских некрополей Древнего царства обнаружено всего около 90 таких сосудов и их фрагментов, что составляет мизерный процент относительно количества всех погребений этого времени.

Изученные нами подземные помещения позволили реконструировать систему устройства древнеегипетских погребений 3-го тысячелетия до н.э., которая свидетельствует о существовании вполне определенных правил расположения и ориентировки камер и тел покойных с учетом природного скального рельефа.

* * *

Итак, к сезону 2009 г. были заново обнаружены практически все скальные гробницы, описанные Лепсиусом и Мариеттом, но затем утерянные, а также несколько неизвестных ранее. Ненайденными остались лишь гробница жреца Нефер-

сефех-птаха, упомянутая Лепсиусом, и безымянная гробница с четырьмя статуарными композициями, кратко описанная Мариеттом. Все попытки обнаружить их не приводили к какому-либо положительному результату. Но вот в ноябре 2009 г. к одному из участников экспедиции — египтологу-эпиграфисту М.В.Лебедеву пришел успех. Облазив все помещения, вырубленные в скале Сен эль-Агуз, он буквально наткнулся на гробницу Нефер-сефех-птаха. Как оказалось, она представляла собой неожиданно маленькое (площадью 1.35×2.25 м и высотой всего 1.17 м) помещение, доступное лишь с использованием веревочной лестницы. Несмотря на небольшой размер гробницы, ее западная стена была оформлена рельефами, изображавшими Нефер-сефех-птаха, его жену Абду и двух их дочерей Чесет и Беби. Иероглифические надписи сообщали, что владельцем захоронения был царский банщик и пророк Хатхор.

Из так называемых «утерянных» гробниц ненайденным к настоящему времени осталось лишь безымянное погребение со статуями, которое, как мы предполагаем, находится в 10 м к югу от входа в гробницу Хафраанха (по крайней мере георадар показал нахождение там рукотворной скальной полости правильной прямоугольной формы). Надеемся, что будущий сезон 2010 г. принесет нам удачу и мы получим новые данные по истории египетской цивилизации в один из ранних ее периодов. ■

Литература

1. *Lepsius R.* Denkmäler aus Aegypten und Aethiopien. Bd.I. Berlin, 1849.
2. *Кормышева Э.Е., Томашевич О.В., Чегодаев М.А.* Российская археологическая экспедиция в Гизе. Сезоны 1996—1998 гг. (предварительные результаты) // Вестник древней истории, 2000. №1. С.160—182.
3. *Кормышева Э.Е., Малых С.Е.* Древнеегипетский малый некрополь в Гизе // Вестник древней истории. 2009. №1. С.199—214.
4. *Mariette A.* Les Mastaba de l'Ancien Empire. Paris, 1885.

Пепловое облако исландского вулкана

Г.Н.Батурин,

доктор геолого-минералогических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Л.В.Зайцева

Институт палеонтологии им.А.А.Борисяка РАН
Москва

В 200 км к востоку от столицы Исландии Рейкьявика находится вулкан с экзотическим названием Эйяфьяллайёкуль, возвышающийся на 1666 м над ур.м. и увенчанный ледяной шапкой. 21 марта сего года этот вулкан начал извергать в атмосферу огромное количество камней, пепла и пара,

а затем и потоки лавы, разлившиеся по его склонам. В результате значительная часть южной Исландии оказалась покрыта продуктами извержения, а мелкие частицы вулканического пепла, поднявшиеся на высоту более 6 км, разнеслись ветрами по всей Европе, долетев до Москвы, Прибалтики и Кавказа, осев темным налетом на полях, дорогах и крышах домов.

Подобные события, но несравненно более значительного масштаба происходили в истории Земли многократно. Так, после извержения вулкана Кракатау в Индонезии в XIX в. закаты солнца в Европе в течение нескольких лет были красными, что отражено в картинах английского живописца У.Тернера. В более древние времена под вулканическим пеплом были по-

© Батурин Г.Н., Зайцева Л.В., 2010



Рис.1. Извержение вулкана Эйяфьяллайёкуль (<http://slon.ru/photo>; <http://apf4.mail.ru>).

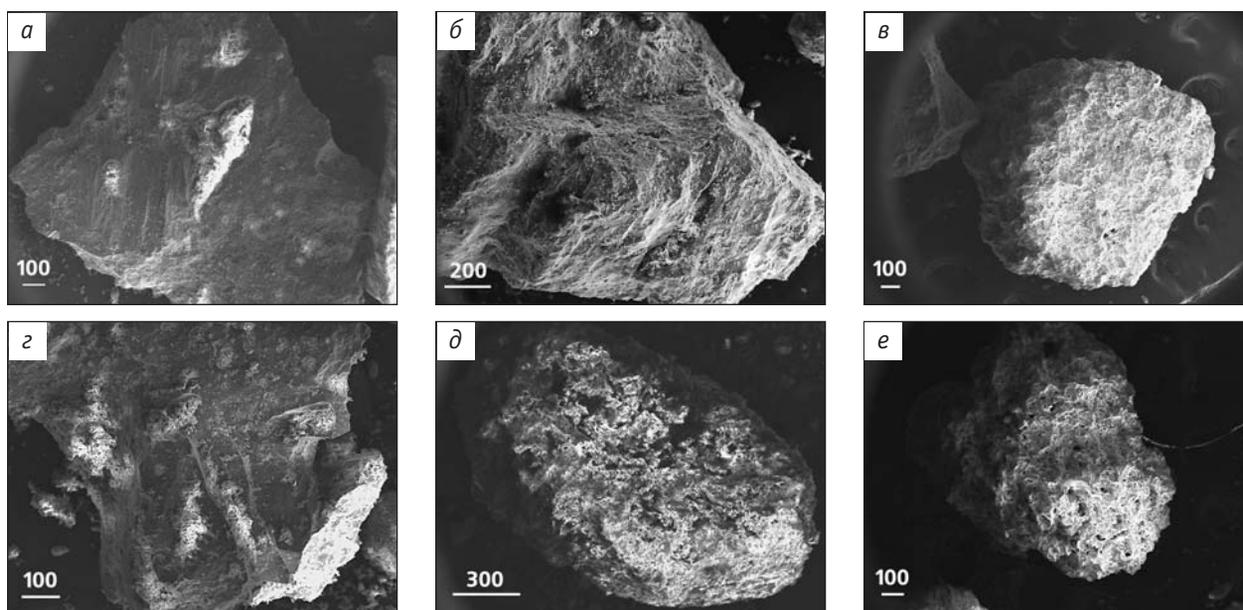


Рис.2. Морфология крупных частиц пепла. На этом и последующих рисунках масштаб указан в мкм.

Здесь и далее фото авторов

гребены Помпея, Геркуланум и несколько других городов близ Везувия. До того мощный вулканический взрыв уничтожил минойскую цивилизацию на о.Крит. Другой взрыв разметал о.Санторин в Средиземном море. А в доисторическую эпоху, сотни миллионов лет назад, растекающиеся потоки лавы покрыли многометровым слоем значительную часть современной территории Западной Сибири и Индии.

Мощность последнего извержения исландского вулкана, по меркам вуканологов, относительно невелика — в атмосферу поступило всего несколько сот миллионов тонн вулканической пыли. Но вид огромного облака пепла и пара, поднявшегося над извергающимся исландским вулканом на несколько километров, действительно впечатляет (рис.1). Вулканическая пыль засыпала не только значительную часть территории Исландии, но и поверхность океана близ острова. Извержение вулкана также создало угрозу для авиации. Тончайшие, но твердые частицы пепла, поступающие в двигатели самолетов вместе с воздухом, сплавлялись в более круп-

ные агрегаты, обладающие абразивными свойствами.

Состав продуктов вулканических извержений изучается вуканологами и геологами всего мира. Масса образованной такого типа составляет значительную долю пород земной коры и влияет на происходящие в ней геохимические процессы. Тонкодисперсный пепловый материал, с одной стороны, обладает повышенной сорбционной способностью, а с другой, содержит элементы, находящиеся в относительно подвижной форме, в частности фосфор — стимулятор биологической продуктивности. Именно поэтому склоны многих вулканов плодородны и покрыты густой растительностью. Давно замечено и то, что через некоторое время после осаждения пепла в озерах, находящихся в зоне извержения, происходит бурное развитие флоры и фауны. Такой же эффект наблюдается в морях и в океане, в осадках которых обнаружены протяженные слои пеплов, накопившихся в результате бесчисленных извержений островных и подводных вулканов. Состав пепла самого популярного сегодня вулкана также заслуживает внимания.

Образцы, отобранные вблизи вулкана Эйяфьаллайёкюль во время мартовского извержения, передал нам геолог Д.Г.Батурин, находившийся как раз в то время в Исландии.

Морфология пеплового материала изучалась нами под сканирующим электронным микроскопом с микроанализатором в Институте палеонтологии РАН, элементный состав его определялся методом ИСП-МС (индуктивно связанной плазмы с масс-спектрометрией) под руководством В.К.Карандашева в Институте проблем технологии и микроэлектроники РАН.

Изучение серии препаратов позволило рассмотреть морфологию и состав как относительно крупных (0.5—1 мм) частиц, так и мелких (≤ 0.01 мм).

В составе крупной фракции можно выделить несколько разновидностей частиц. Угловатые обломки пород с гладкой или шероховатой поверхностью (рис.2,а,б); изометричные частицы (рис.2,а); агрегаты неправильной формы, включающие материал разного размера и, возможно, разного состава (рис.2,г); овальные частицы с бугристой или трещиноватой по-

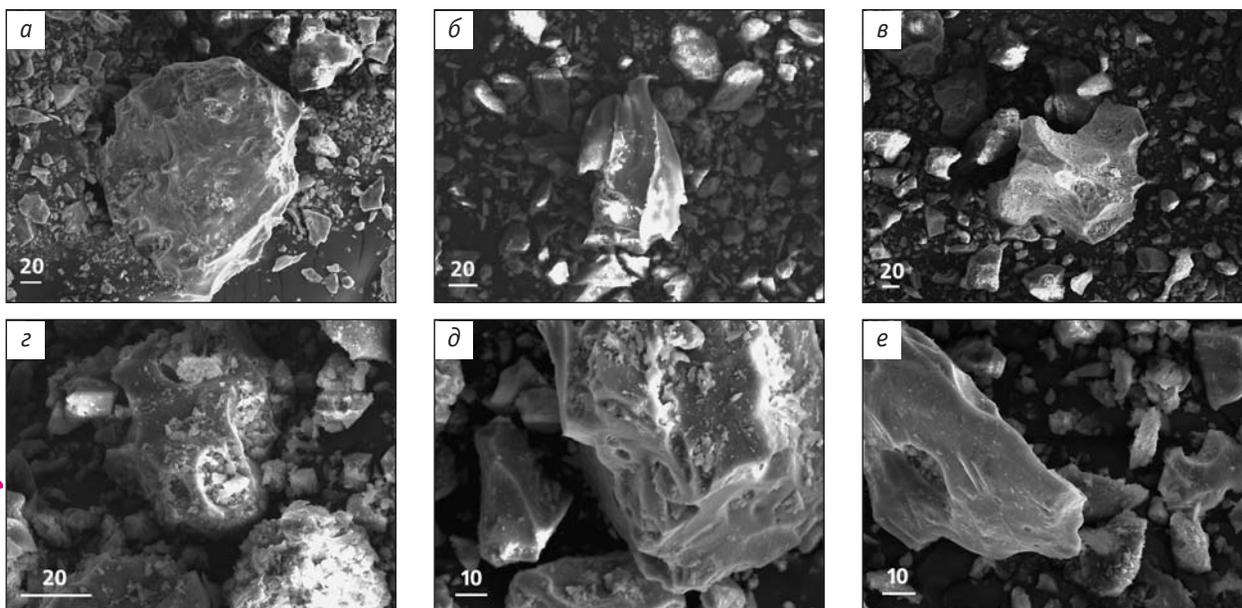


Рис.3. Морфология мелких частиц пепла.

верхностью (рис.2,д); пористые разнообразной формы (округлые, овальные, угловатые) с неровной поверхностью, похожие на обломки пемзы (рис.2,е).

Мелкие частицы доминируют в изученном материале. Для них также характерно разнообразие размеров и форм. Среди просмотренных частиц (0.02–0.05 мм) присутствуют как монолитные обломки пород

изометричной или неправильной формы, так и агрегаты, включающие образования меньшего размера (рис.3,а–в). На рис.3,г показана частица с кавернами, заполненными мелкозернистой массой, а в правом нижнем углу — шарообразный агрегат, сложенный субмикронными частицами. Поверхность большинства частиц неровная, бугристая или ячеистая, но не-

которые — гладкие (рис.3,д–е), что может быть результатом плавления в процессе извержения вулкана.

Особая разновидность пепловых частиц представлена круглыми и овальными образованиями размером 20–30 мкм в поперечнике, для которых характерна гладкая поверхность с отдельными кавернами или углублениями (рис.4).

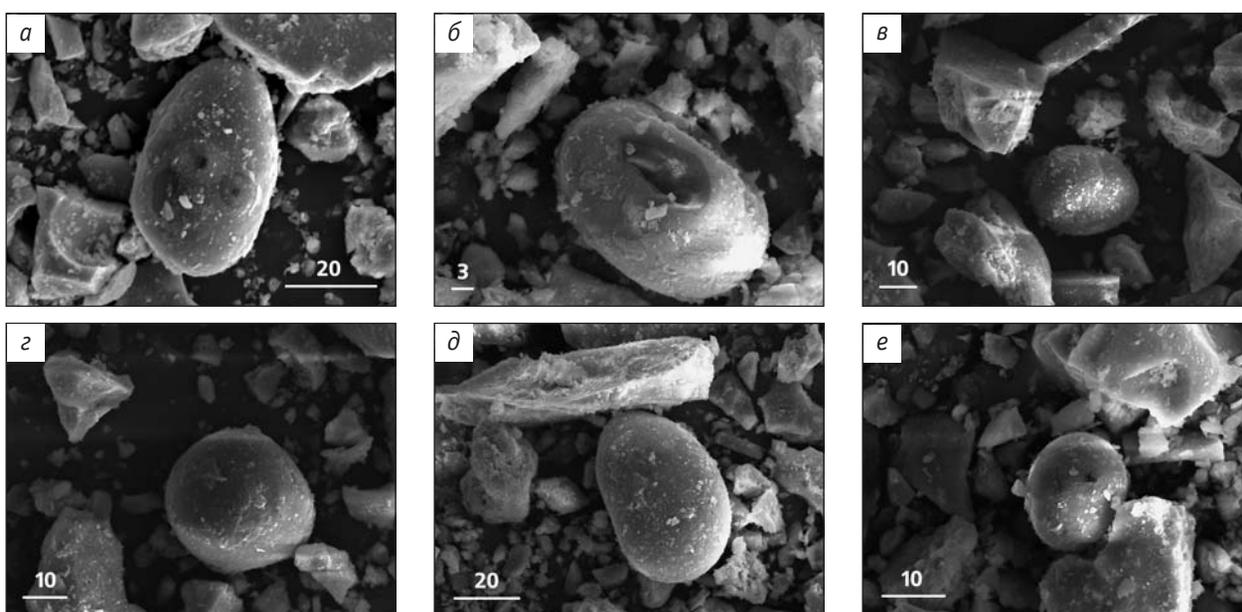


Рис.4. Круглые и овальные углеродистые частицы.

Таблица 1

Основной химический состав пеплов и пород

Компонент	Содержание, %				вулканы Камчатки	океанский андезит**
	средний состав*	исландский вулкан				
		точка 1	точка 2	точка 3		
SiO ₂	52.19	61.65	61.16	63.02	50.08–72.27	57.71
Al ₂ O ₃	13.8 (18.24)	17.94	13.17	13.02	14.80–16.90	17.16
TiO ₂	1.6	—	1.70	1.78	0.47–0.89	0.83
Na ₂ O	4.2	7.17	5.03	5.90	2.8–4.7	3.25
K ₂ O	1.6	1.60	2.20	2.42	1.1–2.0	1.24
CaO	5.3	4.95	4.88	3.61	2.9–7.0	6.78
MgO	2.6	1.00	1.08	1.36	1.3–3.5	3.41
Fe ₂ O ₃	10.2	12.64	22.60	18.85	3.1–7.8	13.45
MnO	0.23	—	—	—	0.09–0.14	0.16
P ₂ O ₅	0.32 (0.41)	—	—	—	0.05–0.22	0.27
S _{общ}	0.076	—	—	—	0.02–2.1	—

* В скобках приведены результаты микрохимического анализа параллельных проб. ** Данные А.П.Лисицына (1978).

При исследовании элементного состава пепла выполнен полный анализ валовой средней пробы, а также серия точечных и профильных микрозондовых определений. Результаты количественного анализа основного химического состава средней пробы пепла и отдельных частиц приведены в табл.1. В ней же для сравнения показан средний состав пеплов вулканов Камчатки и состав островных андезитов.

Судя по результатам валового и точечных анализов, состав пепла исландского вулкана довольно однороден, а колебания концентраций главных породообразующих компонентов относительно невелики.

Сопоставление пеплов исландского и камчатских вулканов показывает, что первые относительно обогащены железом, марганцем, титаном и фосфором. Что касается океанских андезитов, то в них больше кремнезема, но меньше титана, натрия, железа, марганца и фосфора.

При микрозондовом исследовании округлых и овальных микрочастиц обнаружено, что многие из них содержат значительное количество углерода, а отдельные участки почти целиком состоят из углерода, вероятно, в форме графита

(рис.5). Что касается микроэлементов (табл.2), то их содержание в исландском пепле колеблется от 0.02 (ртуть) до 506 г/т (цирконий).

Кроме циркония наиболее распространены барий (412 г/т),

стронций (287 г/т) и цинк (260), за ними следуют ванадий (82), иттрий (68), лантан и ниобий (53–57), затем хром, рубидий, никель и медь (23–49). Минимальные содержания помимо ртути установлены для цезия,

Таблица 2

Микроэлементы в вулканических пеплах и андезитах

Элемент	Содержание, г/т		
	исландский вулкан	камчатские вулканы	андезиты*
Ba	412	520	380
Co	16	25	24
Cr	49	23	60
Cs	0.5	0.9	1.3
Cu	23	27	45
Hf	12	2.5	2.3
Hg	0.02	1.1	—
Li	13	14	10
Mo	4.6	3.0	1.1
Nb	57	4.3	—
Ni	35	12	35
Pb	5.3	13	6.7
Rb	39	27	32
Sb	0.21	0.79	0.22
Sc	16	17	30
Sn	4.4	1.3	0.8
Sr	287	357	600
Th	6.3	2.2	2.2
U	2.2	1.1	0.7
V	82	167	215
Y	68	19	37
Zn	260	73	—
Zr	506	83	220

* Андезиты островов и геосинклиналей, данные А.П.Лисицына (1978).

Лазурные сообщенны

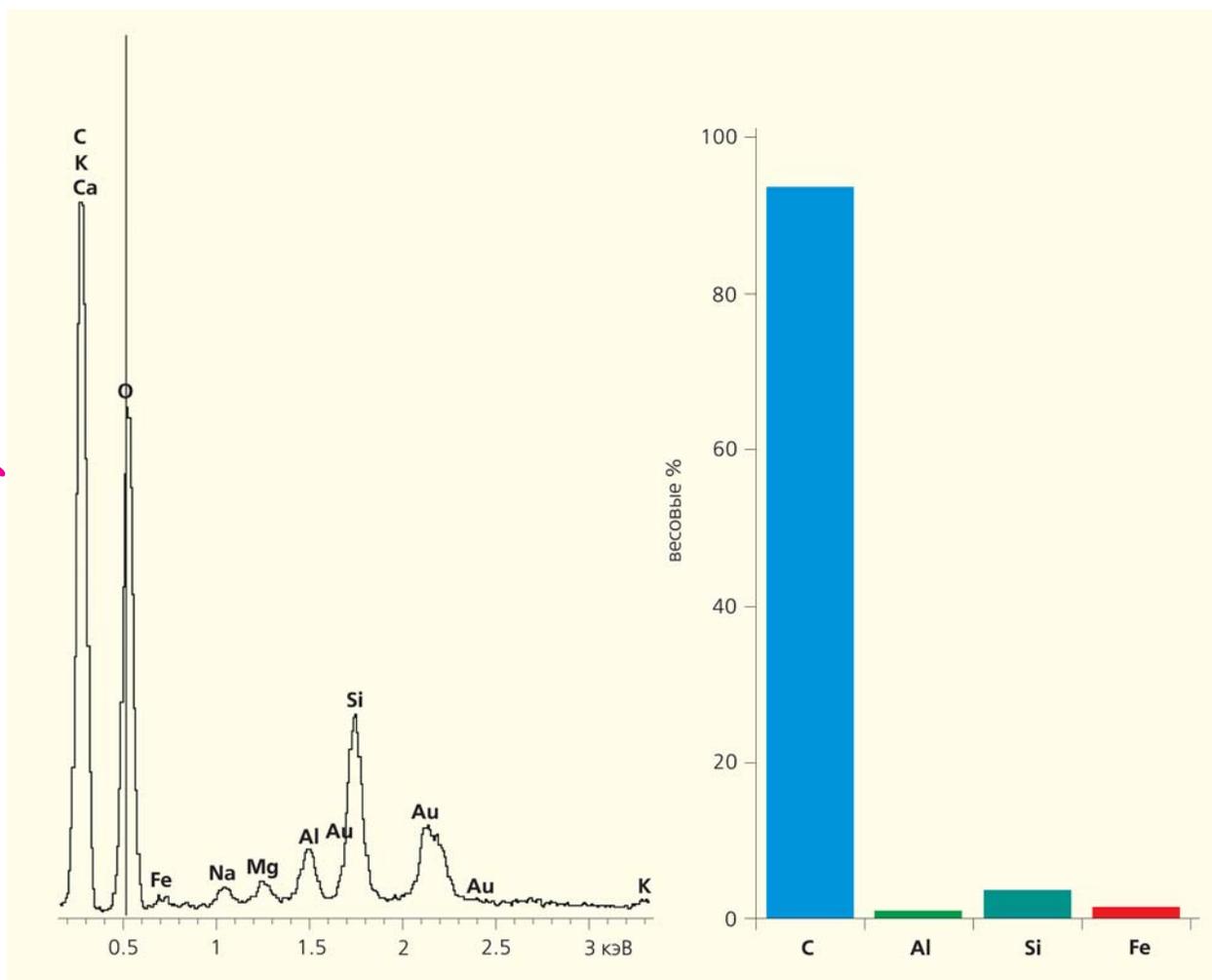


Рис.5. Состав микроузка в углеродистой частице.

сурьмы и урана (0.22 г/т). Несколько больше оказались концентрации олова, свинца и молибдена (4.4—5.2 г/т).

Содержание многих микроэлементов в пеплах исландского и камчатских вулканов довольно близко. Основное различие заключается в том, что первые относительно обогащены никелем, оловом и элементами-гидролизатами: цирконием, гафнием, торием, иттрием и редкими

землями, но обеднены ванадием, кобальтом, свинцом и ртутью.

При сравнении состава всех рассмотренных пеплов и океанских андезитов оказывается, что последние отличаются более высоким содержанием стронция, ванадия, скандия, хрома, меди и цезия при пониженном содержании молибдена, олова и урана.

Приведенные результаты, полученные на основе изучения одной средней пробы пепла

вулкана Эйяфьяллайёкюль, собранной в зоне извержения, могут, видимо, значительно отличаться для материала, разнесенного ветрами по территории Западной Европы, как по минеральному, так и по химическому составу. Оценку общей массы и состава продуктов извержения вулкана можно дать только путем масштабного отбора проб и выполнения системного исследования. ■

Лазерная одиссея

Т.Мейман

16 мая 1960 г. Теодор Мейман, сотрудник Исследовательской лаборатории Хьюза в Малибу в Калифорнии, создал первый в мире лазер, получив генерацию красного когерентного света в искусственном кристалле розового рубина.

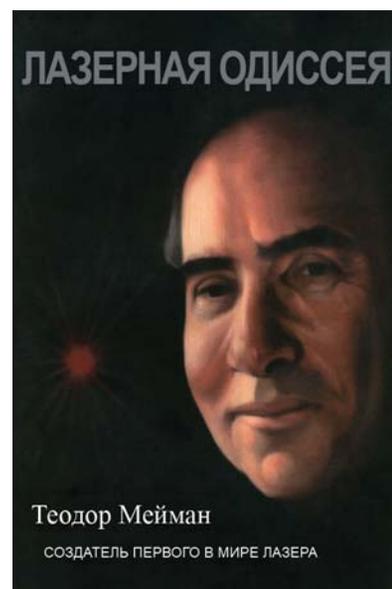
Мейман написал автобиографическую книгу «Лазерная одиссея» (Т.Н.Майман. *The Laser Odyssey. Blaine, 2000*). В этой книге он увлекательно описывает драматическую историю создания лазера в условиях жесткой конкуренции между ведущими университетами и промышленными лабораториями США, настойчиво стремившимися первыми получить генерацию когерентного света после создания микроволнового молекулярного генератора (мазера) в 1954 г.

2010 год объявлен Международным годом лазера, и научный мир празднует в этом году пятидесятилетний юбилей этого выдающегося научного и технологического достижения XX в.

В связи с полувековым юбилеем создания первого лазера перевод замечательной книги Теодора Меймана будет издан в Москве в ноябре 2010 г.

Журнал «Природа» уже опубликовал в майском номере несколько избранных глав из этой книги. В этом номере журнал предлагает вниманию читателя краткий перевод еще четырех следующих глав из «Лазерной одиссеи».

© М.Н.Сапожников,
доктор физико-математических наук
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
Москва



Обложка книги «Лазерная одиссея», которая будет выпущена в ноябре 2010 г. издательством «Печатные традиции».

Свет фантастический

Когда мы с Ирни увидели, как заработал первый лазер, Ирни засиял и стал прыгать от радости. Я же почувствовал оцепенение и полное эмоциональное опустошение от громадного напряжения и возбуждения. Слух быстро распространился вокруг, и все устремились в нашу лабораторию — посмотреть, что же мы сделали. Боб Хеллварт был потрясен и поздравил нас. Джордж Бирнбаум сохранял невозмутимый вид — он не поверил нам до конца. Гарольд Лайонс, который сомневался до этого в здравости моих идей и которого мне с трудом удалось уговорить приобрести монохроматор, теперь сильно возбудился. В его душе проснулся импресарио, он сразу же увидел хорошие возможности для рекламы и решил, что нужно сделать сообщение для печати. В принципе это была неплохая мысль, но сначала мне нужно было выполнить еще некоторые эксперименты.

© Мейман Т., 2010

Хотя лазер вел себя, как я и предсказывал, его порог был не четким, а плавным из-за плохого качества кристалла. Для того чтобы продемонстрировать работу лазера более ярко, я заказал три новых кристалла рубина в отделении «Линде» компании «Юнион Карбайд», которая была единственным производителем искусственных рубинов в Северной Америке.

Рубиновый кристалл в моем первом лазере был вырезан из необработанной булы, купленной в отделении «Линде», и изготовлен в механической мастерской Лаборатории Хьюза. Я сомневался в его качестве и поэтому заказал три новых рубиновых кристалла производства отделения «Линде» для дополнительных экспериментов, которые могли бы убедительно подтвердить испускание когерентного излучения. Наиболее важно было измерить спектральную ширину лазерной линии. Сужение линии стало бы очень убедительным доказательством действия лазера.

Для того чтобы измерить ширину линии излучения, мне нужен был спектрограф с высоким

спектральным разрешением. Как раз в это время Отделение твердого тела и криогеники приобрело именно такой спектрограф. Но возникла проблема. Его заказал Кен Уикершейм и собирался провести на нем серию экспериментов. Конечно, он не хотел уступать его мне. Я обратился за помощью к Гарольду Лайонсу. Гарольд горел желанием как можно быстрее опубликовать сообщение для печати и поэту приказал передать спектрограф мне, что вызвало большое недовольство Кена.

Я попросил спектроскописта Чарли Азаву, который работал в моей группе, помочь мне провести измерения спектральных ширин линий. Наши измерения подтвердили предсказанное спектральное сужение линии, излучаемой лазером. Это было очень убедительное и впечатляющее доказательство его работы. Кроме того, кристалл рубина обеспечивал встроенный контроль для сравнения. Красная флуоресценция рубина излучается в двух тесно расположенных спектральных линиях, которые называются R_1 и R_2 . Моя модель предсказывала, что лазерное излучение должно происходить только на R_1 -линии. Именно так и случилось. Линия R_2 вообще не сузилась. Когда мы работали ниже порога и наблюдали флуоресценцию, спектральная яркость R_1 -линии была лишь немногим больше, чем яркость линии R_2 .

Но при работе выше порога отношение яркостей этих линий было больше 50, что вновь самым убедительным образом подтверждало работу лазера.

Теперь представьте себе, что за 10 лет, предшествующих созданию лазера, спектральная область когерентного электромагнитного излучения была расширена, возможно, всего лишь раз в пять. А после появления лазера квантовый прыжок в ширине этой области достиг десяти тысяч!

Историческая важность моего достижения была осознана не сразу. И я не уверен в том, что она осознана даже теперь.

Фиаско с публикацией. Политика вступает в дело

После того как я создал первый лазер, я подготовил статью для публикации в престижном физическом журнале *Physical Review*, который имел приложение *Physical Review Letters* — для быстрых сообщений об особо важных научных результатах.

Отдел патентования выдал разрешение на публикацию статьи без всякой задержки. Удивительно, но в Лаборатории Хьюза не посчитали, что результат моей работы важен и его следует запатентовать. И поэтому лаборатория потеряла права на иностранные патенты.

Я отправил рукопись редактору журнала *Physical Review* Сэмюэлю А. Гоудсмиту 22 июня 1960 г. Уже через два дня, 24 июня 1960 г., Гоудсмит прислал мне письмо с отказом. Он сообщил, что рецензент рекомендует «направить рукопись в журнал при-

кладной физики, читатели которого могут лучше оценить ее», и приложил редакционную статью, в которой говорилось, что журнал больше не интересуется статьями, посвященные мазерам.

Я оказался в нелепой ситуации! Я назвал статью «Оптическое мазерное действие в рубине», хотя считаю, что термин «оптический мазер» — это оксюморон. Почему же я дал статье такое странное название? Тем более что речь в ней шла совсем не о мазере. Я сделал так, поскольку знал, что редакция *Physical Review* очень консервативна, и если бы я использовал термин *лазер*, то они могли бы отклонить статью на том основании, что в ней описывается просто еще одно новое «устройство», о котором они ничего не слышали, и статья не соответствует тематике журнала, который предпочитал публиковать результаты эзотерических исследований. Но ведь *Physical Review* опубликовал статью Шавлова и Таунса, в которой использовался бессмысленный термин «оптический мазер», и поэтому я думал, что также могу спокойно применить его.

Учитывая суть моей статьи, поведение Гоудсмита было просто поразительным! Я сообщил о важнейшем научном достижении — создании первого в мире источника когерентного света, который расширил спектр когерентного электромагнитного излучения в 10 тыс. раз. И это сообщение посчитали недостойным публикации в журнале *Physical Review Letters*? Я написал Сэму Гоудсмиту, что, по-видимому, его рецензент ошибся. Невероятно, но он тут же прислал мне другое редакционное письмо, в котором сообщалось, что ни одна рукопись, отвергнутая редакцией, повторно не рассматривается. Мнение рецензента является окончательным. Что? Журнал *Physical Review* и его рецензенты непогрешимы? Конечно, процедура отбора статей в журнале *Physical Review Letters* имела недостатки. Но теперь, когда я указал на грубую ошибку рецензента, упрямство редактора было непростительным.

Можете представить себе, какое горькое разочарование мне пришлось испытать. Несмотря на то, что Лаборатория Хьюза с большой неохотой финансировала мой проект, я успешно его выполнил и доказал, что представления, доминирующие в научных кругах, были неверными. Мне удалось опередить сильные, хорошо финансируемые научные коллективы во всем мире, которые стремились создать лазер. И вот теперь я не мог опубликовать свою статью! Эта «комедия ошибок» продолжалась, хотя в то время все это совсем не казалось мне забавным.

Получив отказ из *Physical Review Letters*, я написал краткий вариант статьи, направил его в престижный британский журнал *Nature* и сообщил Гоудсмиту, что заберу статью из редакции этого журнала, если *Physical Review Letters* согласится ее опубликовать. Гоудсмит ответил: «Мы не дублируем публикации». Краткий вариант моей статьи, в котором впервые сообщается о получении коге-

рентного света, был опубликован в журнале *Nature* 6 августа 1960 г. Статья называлась: «Стимулированное оптическое излучение в рубине».

Пока я спорил с редактором *Physical Review Letters*, вокруг стали распространяться слухи, что лазеры уже работают или почти работают в других лабораториях. Администрация Лаборатории Хьюза занервничала. Ведь они могли первыми сообщить в прессе о достигнутом успехе. А если кто-нибудь сообщит об этом раньше, то заявление «мы создали лазер раньше вас», сделанное на следующий день, будет звучать неубедительно.

Я хотел сначала опубликовать статью в научном журнале. Но администрация лаборатории была настолько напугана — вдруг ее опередят, что, несмотря на мои возражения, решила срочно выпустить пресс-релиз. Оглядываясь назад, я поражаюсь, как я мог быть тогда так спокоен и уверен, что мои конкуренты были весьма далеки от цели... Но я был прав.

В связи с пресс-релизом Гоудсмит заявил: «Мы не публикуем в нашем журнале материалов, о которых сообщалось в прессе». Конечно, в пресс-релизе дается популярное изложение материала, в то время как научная статья, которую я направил в *Physical Review Letters*, была написана для моих коллег. И никакого противоречия здесь не было. Теперь мне стало окончательно ясно, что *Гоудсмит ни в коем случае не собирался публиковать мою статью*.

Резкие стычки с Сэмюэлем Гоудсмитом, которые принесли мне много огорчений, стали началом моей сорокалетней вражды с Американским физическим обществом, которое издает журнал *Physical Review*. *Я не понимал отчетливо в то время, что мне пришлось столкнуться лицом к лицу с очень сильными и влиятельными кругами — клубом старых друзей, кликой восточных университетов, в которую входят Лаборатории Белл и некоторые другие элитарные исследовательские лаборатории на Восточном побережье*. Эти исследователи смотрят свысока на работу в промышленности вообще, но особо низкого мнения они об исследованиях в аэрокосмической промышленности на Западном побережье (в частности, в Лаборатории Хьюза).

Интересно, что статьи на ту же тему, которые были написаны *после* моей, также были направлены в *Physical Review Letters*. Статья из Лабораторий Белл *воспроизводила* мою работу с рубиновым лазером. Стивенсон и Сорокин из компании IBM сообщили о создании уранового лазера, в котором они использовали мою идею накачки лампой-вспышкой, а Джаван, Беннетт и Херриотт из Лабораторий Белл написали статью о создании инфракрасного газового лазера. Все эти статьи были сразу же приняты редакцией журнала и быстро напечатаны. Авторы этих статей, принадлежащие к истеблишменту, не получали никаких недоброжелательных отзывов от Сэма Гоудсмита.

Из-за фиаско с публикацией моей статьи возникло еще одно недоразумение. После того как ее отклонили в *Physical Review Letters*, я послал полную рукопись статьи в *Journal of Applied Physics*, где ее приняли в печать. Во время пресс-конференции на столе для репортеров лежали препринты этой статьи. Недели или две спустя я получил письмо от редактора журнала *British Journal of Communications and Electronics*, о существовании которого я даже не знал. *Редактор сообщил мне, что он без моего ведома и разрешения опубликовал в своем журнале препринт моей статьи, предназначенной для Journal of Applied Physics!* По этой причине *Journal of Applied Physics* не стал печатать мою статью.

Сообщение для печати

Лаборатория Хьюза не собиралась упускать возможность широкой рекламы. Пресс-конференцию было поручено устроить рекламному агентству Карла Бойра, которое занималось рекламой деятельности лично Говарда Хьюза.

В моей лаборатории появился опытный фотограф. Он сказал, что сделает несколько фотографий для широкой печати. До этого он уже фотографировал научные приборы для рекламы, и его фирменным приемом было изображать прибор на фоне лица его создателя. Он попросил меня взять лазер и держать его перед лицом. Однако кадр ему не понравился, так как лазер был слишком маленьким и пропорции, по его мнению, были не подходящими для хорошей фотографии. Он огляделся вокруг и увидел одну из моих запасных конструкций лазера с лампой-вспышкой FT-503 среднего размера, которая показалась ему более подходящей. Он спросил: «Это лазер?» — «Да», — ответил я. Кадр с этим лазером ему очень понравился. Но я забеспокоился: «Подождите секунду. Ведь *самый первый лазер не этот, а тот!*» Он ответил: «Послушайте, это называется “творческой вольностью”». Вы занимаетесь наукой, а я делаю фотографии. Если это так сильно вас волнует, положите руку на живот, чтобы избавиться от тошноты». Он сфотографировал еще несколько приборов в лаборатории, которые имели небольшое отношение к лазеру или вообще не относились к нему. Фотограф объяснил мне, что несколько дополнительных снимков нужно просто для пресс-релиза, а 90% всех последующих статей поместят фотографию моего лица с *не самым первым лазером*. И он был прав!

Пресс-конференцию организовал Билл Атли. Он сразу же сказал, что ее нужно провести не в Малибу, а в Нью-Йорке, где она привлечет наибольшее внимание. Пресс-конференция состоялась 7 июля 1960 г. в отеле «Дельмонико» в Нью-Йорке. На ней были представлены газета *New York Times*, журналы *Time* и *Life*, *Newsweek*, *Christian Science Monitor* и все главные агентства печати. Пресс-центр был забит журналистами. Текст пресс-релиза приведен ниже.

От: Корпорации «Карл Бойр и партнеры»
 Пресс-релиз
 Для: «Авиационной компании Хьюза».
 11 часов утра, четверг
 Флоренс авеню и Тиил стрит. 7 июля 1960 г.
 Калвер Сити, Калифорния
 Тел. (07111) 2423 и 2149

США — ПОБЕДИТЕЛЬ В ПОИСКАХ КОГЕРЕНТНОГО СВЕТА

Ученый из Лаборатории Хьюза сообщает о создании впервые в мире долгожданного источника света «ярче, чем центр Солнца».

Нью-Йорк, 7 июля. Ученый из Авиационной компании Хьюза (Калвер Сити, Калифорния) сообщил сегодня на пресс-конференции в отеле «Дельмонико», что человек впервые создал источник «когерентного света» — «атомного радио-света» ярче, чем центр Солнца.

Доктор Теодор Г.Мейман продемонстрировал журналистам «лазер» (сокращение от Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) — новое твердотельное электронное устройство размером меньше обычного стакана, сердцем которого служит искусственный рубин. Он сказал, что это устройство используется в исследовательских лабораториях компании для генерации когерентного пучка света.

Доктор Мейман сообщил, что «создание лазера (который иногда называют оптическим мазером) в Лаборатории Хьюза является кульминацией усилий групп ученых, работающих во многих ведущих лабораториях мира, исследования которых финансировались частными фондами или государством и иногда выполнялись по контрактам с министерством обороны. В Лаборатории Хьюза эта работа финансировалась из личного фонда компании».

500 000 миллиардов герц

«Научный прогресс, достигнутый благодаря созданию лазера, состоит в том, что частота излучения лазера в 10 000 раз превышает предельную частоту радиочастотного спектра, — сообщил Мейман. — Радиочастотный спектр лежит в диапазоне электромагнитных частот, начиная от миллиона колебаний в секунду (герц) для коммерческого радио и до 50 000 миллионов герц в микроволновой области. Лазер совершил скачок по частоте от 50 000 миллионов герц до 500 000 миллиардов герц, что открыло путь для множества важных применений».

Он приводит следующие применения.

1. Истинное усиление света (впервые в истории науки).
2. Новый научный инструмент для исследования свойств вещества и проведения фундаментальных физических экспериментов.
3. Фокусировка света в пучки высокой интенсивности для космической связи.
4. Огромное увеличение числа каналов связи.
5. Использование высокой концентрации света для применений в промышленности, химии и медицине.

Как лазер работает

Доктор Мейман сказал, что описал свой лазер в статье, направленной в *Journal of Applied Physics*. Он сообщил, что принцип действия лазера достаточно прост, по крайней мере с точки зрения ученого, и состоит в следующем.

1. Искусственный кристалл рубина освещается источником света типа мощной лампы-вспышки.
2. Оптическая энергия возбуждает атомы в более высокое энергетическое состояние, из которого энергия излучается в узкой полосе частот.
3. Возбужденные атомы помещены в атомный резонатор и стимулируются испускать излучение вместе (отсюда — акроним «лазер»). В этом заключается отличие от обычных источников света, в которых атомы излучают отдельно друг от друга случайным образом, в результате чего свет этих источников является некогерентным.

Атомный радио-свет

Доктор Мейман сказал, что лазер можно описать «как атомный радио-свет», потому что его когерентные свойства аналогичны свойствам радиоволн и в нем используются атомные методы для генерации свето-

вых пучков, которые «ярче, чем свет, испускаемый из самых горячих центральных областей Солнца и звезд».

Он сообщил, что лазер можно использовать в качестве «лазерного радара», испускающего не радиоволны или микроволны, а световые волны, которые можно направлять на мишень даже в космосе. Световые волны, отраженные назад от мишени, будут давать «изображение» с исключительно высокой четкостью, которая раньше была недоступна. Доктор Мейман заявил, что тонкий, как игла, световой луч можно использовать в качестве надежно защищенной от атмосферных помех и глушения «частной линии» для передачи телевизионных изображений и радиосвязи.

«Использование лазера в радарах и космической связи представляется очевидным, так как лазерные лучи не будут поглощаться или рассеиваться в космосе из-за отсутствия там атмосферы, — сказал Мейман. — Тонкие лучи лазера позволят нам получать детальные изображения любых площадей с высоким разрешением. Например, лазерный луч, направленный на Землю со спутника на высоте 1000 миль [1600 км], можно сконцентрировать на площади шириной примерно 200 футов [60 м].»

Доктор Мейман заявил, что лазеры могут генерировать излучение «наиболее чистого цвета», так как в принципе световые волны, испускаемые лазером, могут быть в миллион раз более монохроматическими (одноцветными), чем излучение ртутной или неоновой ламп.

Концентрация луча

«Лазер генерирует почти идеально параллельный луч, который расширяется очень слабо, — сказал Мейман. — Например, лазер может генерировать луч с углом расширения менее одной сотой углового градуса. Такой луч, достигнув поверхности Луны, находящейся на расстоянии почти четверти миллиона миль от Земли, будет освещать площадь на Луне шириной меньше, чем 10 миль. Для сравнения: если бы луч прожектора (или обычный свет) мог достигнуть Луны, он бы расширился до 25 000 миль, и яркость освещения уменьшилась бы соответственно, потому что прожектор является источником некогерентного света конечного размера».

«Так как световую энергию лазера можно сконцентрировать на очень малой площади, то создается очень высокая интенсивность облучения и можно производить очень сильное локальное нагревание поверхности», — сообщил Мейман.

«Это открывает возможности для многих применений, например для стерилизации поверхностей с помощью лазерного луча, который можно сфокусировать в игольчатую точку, — добавил Мейман. — Возможно, таким образом удастся испарять отдельные части бактерий, небольших растений и частиц. Можно будет модифицировать поверхности, стимулируя светом лазерного луча и нагреванием химические или металлургические изменения. Это можно будет использовать в биологии, медицине и промышленности».

Дополнительная информация

Доктор Мейман сказал, что лазерный луч можно направить, например, из Лос-Анджелеса в Сан-Франциско и при этом он расширится не более, чем до 100 футов [30 м], в то время как луч прожектора расширится на этом расстоянии до 50 миль [80 км].

«Лазер испускает узкий луч когерентного света на чрезвычайно высоких оптических частотах, примерно 500 000 миллиардов колебаний в секунду, на которых электромагнитные волны становятся светом, — сказал Мейман. — Расстояние между гребнями волн в оптической области равно 27-миллионной дюйма [2,54 см], в то время как в микроволновой области длина волны равна примерно одному дюйму, а длина радиоволн равна примерно 300 ярдов [273 м]», — объяснил он.

«Следовательно, лазерный луч можно сконцентрировать в пределах крошечной точки, подобной острию булавки диаметром, равным примерно 27-миллионной дюйма», — сказал Мейман.

«Сравнение с острием булавки здесь уместно, — добавил он, — потому что площадь головки булавки в два миллиона раз больше, чем поперечное сечение сфокусированного лазерного луча».

«Для того чтобы генерировать световую волну с интенсивностью, равной интенсивности лазерного света, “солнечный” прожектор на угольной дуге, используемый в киностудиях в Голливуде, должен иметь температуру в несколько миллиардов градусов (температура поверхности Солнца равна 6000 градусов Цельсия). Это чисто гипотетический пример, потому что материал, из которого сделан прожектор, расплывется при такой температуре», — объяснил Мейман.

Доктор Мейман объяснил также, что термин «температура» применительно к лазеру имеет смысл, который отличается от общепринятого, так как речь идет о температуре, которую должен иметь обычный источник света для того, чтобы генерировать сигнал такой же яркости, как у лазера на его длине волны. Вот почему лазер «не сгорает», — сказал он.

Представители Лаборатории Хьюза и агентства Карла Бойра приехали в отель накануне пресс-конференции. Глава рекламного отдела лаборатории Боб Мейер попросил меня показать ему лазер, который я привез для демонстрации. Увидев его, он пришел в ужас. «Боже, у нас будут большие неприятности!» — заявил Боб. «Почему?» — спросил я. «И весь этот шум вокруг пресс-конференции связан с этой штукой? Она похожа на инструмент водопроводчика!» А мне казалось, что моя конструкция была довольно простой и элегантной.

Пресс-конференция прошла чрезвычайно успешно. На ней присутствовали представители всех главных средств информации, которые проявили огромный и шумный интерес к моему выступлению. На следующий день появились сообщения на первых страницах всех главных газет США — *New York Times*, *Chicago Tribune*, *Los Angeles Times* — и во многих газетах других стран. Боль-

шое число газет и журналов вынесло информацию в заголовки. Заголовок в газете *Los Angeles Herald's* был набран красными буквами высотой в два дюйма [5 см]. Все заголовки были вариациями фразы: «Человек из Лос-Анджелеса открыл научно-фантастический луч смерти!». Вот так лазер был представлен миру.

Прошло несколько лет, прежде чем удалось избавиться от ярлыка «луч смерти», который журналисты приклеили лазеру. Когда я встречался с новыми людьми в обществе и речь заходила о лазере, почти всегда я слышал вопрос: «О, вы имеете в виду луч смерти?» Особенно мне запомнился случай, когда во время одного приема меня представили актрисе Бетт Дейвис. Я был одним из ее поклонников и очень волновался. И когда она спросила меня: «А что вы чувствуете, понимая что несете ответственность за смерть и разрушение?», — я был настолько ошеломлен этим вопросом, что пробормотал что-то в свою защиту, ничего не ответил. Но, к ее чести, мисс Дейвис, прежде чем уйти с приема, нашла меня и сказала: «Я подумала о том, что сказала вам, и поняла, что была права. Я считаю, что ученые должны заниматься развитием технологии, а общество должно решать, как использовать ее».

Лазерное оружие было сделано через несколько лет. Но эти лазеры представляют собой огромных монстров с жесткими практическими ограничениями. Конечно, они далеки от того лазерного оружия, которое показывают в фильме «Звездные войны». Однако лазеры очень эффективно используются для точного наведения *других видов оружия*. Хорошо известны, конечно, «управляемые бомбы», которые применялись на войне в Заливе и во Вьетнаме. Но, насколько мне известно, «лучи смерти» еще не созданы. В то же время лазеры с большим успехом широко используются в медицине.

На самом деле можно сказать, что лазер — это луч жизни, а не смерти.



ЧЕЛОВЕК ИЗ ЛОС-АНДЖЕЛЕСА СОЗДАЛ ЛУЧ СВЕТА ЯРЧЕ СОЛНЦА. Статьи, опубликованные в американских газетах после пресс-конференции Т.Меймана 7 июля 1960 г. Заголовки: «Поразительное открытие луча смерти»; «Свет ярче Солнца»; «Угрожающее ужасное оружие»; «Изобретатель лазера Мейман получает очередную желанную награду»; «Научный прибор, сделанный из света»; «Новый электронный прибор — лазер — и его создатель доктор Теодор Мейман»; «Лампа, яркая как Солнце».

Последствия и эффект ряби

После сообщений о пресс-конференции в печати началось настоящее столпотворение. Я получал множество писем и телеграмм, мне звонили из разных уголков мира. Некоторые звонки были очень интересны. Директор компании «Ice Carades» заинтересовался лазером, потому что он излучал *чистый* цвет, и намеревался использовать его в огнях рампы! Владелец компании «Knott's Berry Farm» предложил сделать лазерное ружье для стрельбы в тире по деревянным уткам (и такое ружье сделали). Президент Американской ассоциации экспортеров мяса говорил со мной по телефону в течение часа. Он хотел применять лазер при забое свиней. В Лабораторию Хьюза звонили представители правительственных агентств

и предлагали заключить контракты на исследования и разработку лазеров. Их особенно интересовали секретные военные приложения.

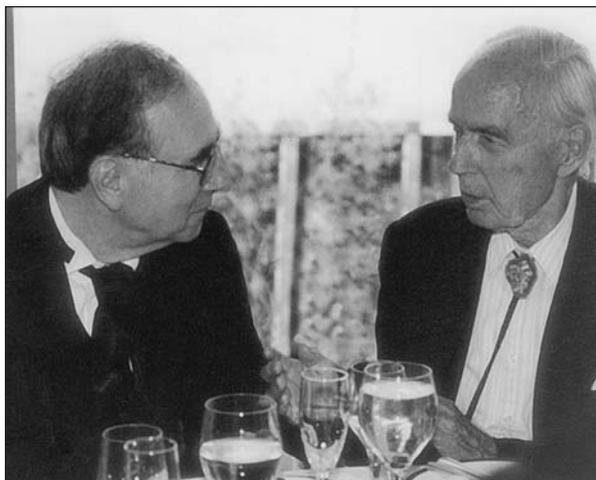
Теперь у редакции журнала *Physical Review Letters* появился хороший повод для оправдания огромного промаха, который они допустили, отклонив мою статью. Они не собирались публиковать в своем высоконаучном журнале материалы, которые уже были широко освещены в прессе. Я признаю, что предпочел бы, чтобы администрация Лаборатории Хьюза повременила с пресс-конференцией до того, как я решу проблемы с публикацией статьи. И я просил об этом. Однако через полгода Лаборатории Белл выпустили пресс-релиз в связи с созданием гелий-неонового газового лазера также до публикации статьи в *Physical Review Letters*. Но у них никаких проблем с редактором не возникло. Просто для членов истеблишмента существуют другие правила.

К тому моменту, когда в Лаборатории Хьюза был создан рубиновый лазер, Лаборатории Белл Телефон инвестировали миллионы долларов в исследования, которые проводили Сандерс, Джаван и Шавлов. Они рассчитывали выиграть лазерную гонку. Одна из наиболее престижных лабораторий в мире, которая обладала почти неограниченными ресурсами и в которой работало много ученых высочайшего класса, поставила себе цель создать первый в мире лазер. Но им не удалось сделать это. Еще хуже оказалось то, что «сердцем» первого лазера стал кристалл розового рубина. Лаборатории Белл официально заявили, что розовый рубин не годится для создания лазера. Именно Шавлов в своих выступлениях на Первой конференции по квантовой электронике и в своей статье, опубликованной в материалах этой конференции, забракковал розовый рубин. А всего лишь три месяца тому назад Клогстон (начальник Шавлова) заявил в частной беседе во время своего визита в Лабораторию Хьюза, что «работа по созданию рубинового лазера — это пустая трата времени».

Мне особенно запомнился и понравился телефонный звонок от моего друга Питера Франкена после сообщений в прессе. Он поздравил меня и сказал, что особенное удовольствие ему доставило то, что я победил Лаборатории Белл. Высокомерие сотрудников этих лабораторий было хорошо известно и никому не нравилось. В Лабораториях Белл работало много прекрасных ученых. И в последующие годы в этих лабораториях мирового класса было получено много важных достижений в области лазерной технологии, которыми сотрудники могут очень гордиться.

Но... день 7 июля 1960 г. не был радостным для сотрудников Лабораторий Белл Телефон. Они еще не успели оправиться от поразительной и неприятной для них новости и продолжали плести интриги.

Научная общественность была потрясена. Пресс-релиз Лаборатории Хьюза застал всех



С моим руководителем в аспирантуре в Стэнфорде, лауреатом Нобелевской премии профессором Уильямом Лэмбом.

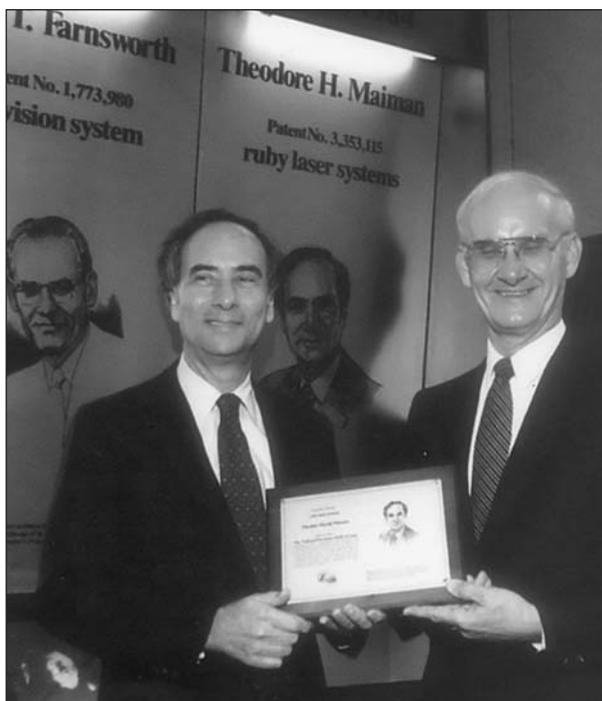
врасплох. Все ожидали, что, когда лазер появится, он будет представлять собой устройство, в котором используется газ или пар, и сделают его в Лабораториях Белл или Колумбийском университете, может быть, в компании TRG (Technical Research Group) или еще в какой-нибудь другой хорошо финансируемой лаборатории. И конечно, никто не ожидал, что лазер будет основан на кристалле розового рубина, который был признан негодным для этой цели.

По иронии судьбы через несколько дней после сообщений в печати Шавлов — соавтор и зять Таунса — заявил, к моему удивлению, что он убежден в том, что мой рубиновый лазер работает! Но Таунс так не считал.

В 1960 г. Таунс был вице-президентом правительственного агентства, которое называлось Ин-



Президент Линдон Б.Джонсон вручает мне в Белом доме премию Фанни и Джона Гертца.



Избрание в Чертог Славы национальных изобретателей в 1984 г.

ститутом оборонного анализа [The Institute for Defense Analysis (IDA)]. Агентство IDA сообщило администрации Лаборатории Хьюза о том, что они хотят, чтобы я рассказал о своей работе у них. Лаборатория Хьюза до этого с неохотой финансировала мой проект из своего собственного кармана, так как у меня не было никакого правительственного контракта. Поэтому администрация лаборатории не обязана была подчиняться этому требованию. Но финансирование лаборатории



Теплое поздравление императрицы Японии Мичико в связи с присуждением мне Премии Японии. Крайний слева — император Акихито.

сильно зависело от правительственных контрактов, и поэтому администрация решила, что было бы ошибкой отклонить запрос IDA.

Гарольд Лайонс и Джордж Бирнбаум, которые были друзьями Чарлза Таунса, приказали мне отправиться в штаб-квартиру IDA в Вашингтоне. На встрече также присутствовал полковник военно-воздушных сил, который оформлял контракт фирмы TRG с агентством ARPA (Advanced Research Project Agency). Фирма TRG заключила с ARPA контракт на миллион долларов на создание лазера, основанного на концепциях Гордона Гоулда. И теперь агентство ARPA было в замешательстве, так как TRG потерпела поражение.

Я оказался в очень враждебном окружении. Таунс внимательно выслушал мое сообщение, но не поверил, что я сделал лазер. *Он заявил, что, должно быть, я наблюдал какой-то артефакт!* Я был ошеломлен. Мнение Таунса было просто поразительным. Ведь я рассказал о том, что наблюдал сверхлинейный рост интенсивности выходного излучения, сильное уменьшение времени затухания излучения и чрезвычайно сильное сужение спектральной линии. И, конечно, решающим доводом было *контрольное* поведение линии R_2 , на которой лазерный эффект не наблюдался. Эта линия сыграла роль *встроенного контроля* в моих опытах. Что я имею в виду? Как я говорил выше, лазерный эффект в рубине наблюдался только на R_1 -линии, а на R_2 он отсутствовал. Так и должно было быть в соответствии с моделью, которую я построил. Так как эти две линии флуоресценции кристалла рубина аналогичны друг другу во всех отношениях, то различные нелазерные эффекты, которые могут происходить в кристалле, такие как нагревание и другие, будут оказывать одинаковое воздействие на обе линии. Это напоминает дважды слепое испытание лекарственных препаратов. И поэтому R_2 -линия, действительно, выполняла роль контроля в моих экспериментах. Данные, которые я получил, абсолютно убедительно показывали, что *никаких артефактов не было*. Наоборот, они четко подтверждали, что мне удалось сделать лазер.

Может быть, Таунс был потрясен и пришел в замешательство от того, что он и его группа из Колумбийского Университета не смогли сделать злополучный лазер на парах калия, накачиваемый калиевой лампой, о котором они писали с Шавловым в своей статье в *Physical Review*? И конечно, для Шавлова и Таунса крайне неприятным было то обстоятельство, что мой рубиновый лазер *кардинальным образом отличался* от того, что они предлагали в своей статье.

Действительно: (1) Небольшой рубиновый кристалл при комнатной температуре не имеет ничего общего с горячей кюветой с парами калия; (2) длина волны красного излучения соответствует частоте электромагнитного спектра, в четыре с половиной раза более высокой, чем частота ин-

фракрасного излучения, которое предполагали получить Шавлов и Таунс, и (3) выходная мощность моего лазера, которая составляла много киловатт, была в миллион раз больше, чем несколько милливольт, которые они ожидали получить.

Полковник явно успокоился, когда понял, что Таунс не признал того, что я сделал лазер. Он сказал: «Я продолжаю ставить на нашу лошадь». Но облегчение полковника было недолгим. Таунс и полковник просто огульно отрицали мой результат.

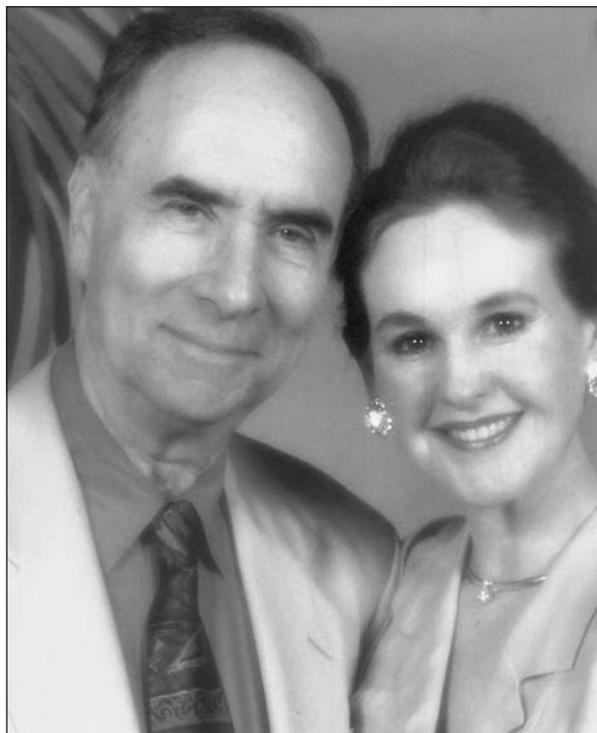
20 июля я получил три отполированных кристалла рубина, которые заказал два месяца тому назад в компании «Юнион Карбайд». Новые кристаллы содержали хром в той же концентрации, что и мои первые кристаллы, и были точного того же размера (1×2 см). Как я и ожидал, качество новых кристаллов оказалось лучше. Я взял один из них и установил его в лазерную головку вместо первого кристалла.

И тут... это случилось!

Повышая напряжение на выходе источника питания, мы обнаружили очень четкий порог и увидели маленькое яркое пятнышко на стене. Теперь уже все, кто отказывался признавать, что я сделал рубиновый лазер, не могли больше отрицать это. Два других новых рубиновых кристалла также работали прекрасно.

Новость о создании лазера произвела настоящий взрыв в финансировании лазерных проектов. Ученые, которые уже раньше занимались этой работой, изменили направление своих исследований. Лазерными проектами стали заниматься новые ученые, которые раньше работали в других областях. В Лабораториях Белл была организована специальная группа из шести ученых. Они изучили мой пресс-релиз и тщательно проанализировали фотографию *не самого первого моего лазера*, которая была там приведена. На этой фотографии были изображены лампа-вспышка FT-503/524 и рубиновый кристалл диаметром 1/4 дюйма и длиной 2 дюйма. Примерно через полтора месяца этой группе удалось сделать рубиновый лазер, аналогичный моему. И неудивительно, что они *использовали в нем длинный и тонкий рубиновый стержень, который был помещен внутрь лампы вспышки FT-503/524 точно так, как на фотографии в газете.*

В конце августа Р.Дж.Коллинс — один из этой группы шести сотрудников Лабораторий Белл, позвонил мне в лабораторию, чтобы узнать параметры моего эксперимента, описанного в журнале *Nature*. Я сообщил ему эти параметры, а также сказал заодно, что всякие сомнения относительно того, действительно ли я сделал лазер, теперь навсегда можно отбросить, после того как я наблюдал 20 июля эффективную работу лазера с кристаллами рубина, сделанными в отделении «Линде». Коллинс пробормотал в ответ: «Мне сказали, чтобы я не обсуждал научную информацию по те-



С женой Кэтлин во время морского путешествия в Мексику.

лефону». *А почему нет?* Когда публикуются научные статьи, обычно считается этичным сообщать такую информацию в сноске, как частное сообщение со ссылкой на источник. Статья сотрудников Лабораторий Белл была принята в печать в *Physical Review Letters* без всяких проблем. Редактор журнала Гоудсмит не отклонил ее. Они опубликовали статью о «своем» рубиновом лазере и его работе. *Но они не упомянули в этой статье об информации, которую я сообщил Коллинсу по телефону.*

После того как вышел пресс-релиз Лаборатории Хьюза, произошел забавный случай. Когда у физика Кена Уикершейма забрали спектрограф высокого разрешения, который он заказал и ожидал полгода, он был очень огорчен и раздражен и с нетерпением ждал, когда Чарли Азава и я закончим спектральные измерения с лазером, пользуясь *его* спектрографом. В конце концов, крайне недовольный, он сдался и решил уйти в отпуск, подальше от этого лазера, который он возненавидел от всей души. Кен в буквальном смысле сбежал в туристический поход по калифорнийским горам. 8 июля 1960 г. он взобрался где-то в глуши на вершину горы по горной тропе и подошел к маленькому магазинчику. Здесь он увидел на прилавке газету и прочитал заголовок статьи: «Человек из Лос-Анджелеса открыл научно-фантастический луч смерти».

© Перевод с английского
М.Н.Сапожникова



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.

ДЕКАБРЬ.

МОСКВА.

1912 г.

План превращения Сахары в море

Г.А.Томсон

Небывалая сенсация в Париже была вызвана недавно смелым предложением профессора Эшегуайена, знаменитого ученого, заявившего, что Франция не должна терять времени и превратить громадную пустыню Сахару во внутреннее море. Ввиду того что около четверти всей пустынной площади лежит ниже уровня моря, устройство канала приблизительно в 50 миль длины через более высокую часть северо-африканского побережья немедленно, по мнению проф. Эшегуайена, создало бы Сахарское море, по величине равное половине Средиземного моря. Этот канал, утверждает знаменитый ученый, не представит больших технических трудностей, так как побережье состоит из песка и мягких образований.

Последствия подобного предприятия, продолжает профессор, были бы грандиозными. Все бесплодные страны, окружающие теперь пустыню, и те части Сахары, которые находятся выше уровня океана, были бы превращены в цветущие, как Европа, так как нынешнее бесплодное состояние обязано совсем не плохой почве, а исключительно недостатку воды. В довольстве и комфорте стали бы тогда существовать целые миллионы человеческих существ, которые в настоящее время влачат жалкое полуголодное существование. Кроме того, могла бы быть прибавлена к владениям Франции новая громадная колония, политическое и экономическое значение которой едва ли можно преувеличить. Флотилия пароходов пересекала бы Са-

харское море, глубина которого варьировала бы от 10 до 60 фатомов (от 16 до 100 метров), и цветущая торговая деятельность была бы вызвана между Алжиром и Французской Западной Африкой. Наиболее интересным результатом явилось бы изменение климата всей Северной Африки от крайностей экваториальной жары к приятной температуре Наталя, что увеличивало бы ее значение как места колонизации для европейцев.

Схема проф. Эшегуайена вызвала массу комментариев и возражений. Известные знатоки метеорологии закричали в ужасе, что умерить температуру Африки, значит, переменить климат Европы; что если тропическая Африка должна сделаться умеренной, то Европа станет арктической; рисовались полные тревоги картины Англии, Бельгии и Дании, погребенных под постоянным снегом в несколько футов толщины, а их жителей или поспешно эмигрирующими в более теплые страны или же ведущими образ жизни эскимосов. Еще более поразительный аргумент за оставление Великой пустыни в покое состоит в том, что перемещение стольких билионов тонн воды повлияет на равновесие Земли, и инженер, который предпринял бы работы по созданию нового моря на карте мира, навсегда потом был бы проклинаем человечеством за изменение оси земного шара.

С другой стороны, другие ученые считают все эти опасения иллюзорными; все предсказываемые возможности преувеличенными. Они приветству-

ют эту великолепную идею, получившую начало в стране, которая задумала Суэцкий и Панамский каналы. Время уже не за горами, восклицают они с энтузиазмом, когда иссушенная почва станет прудом и пустыня зацветет розами, как предсказано было еврейским пророком века тому назад.

Считаясь с широким интересом и влиянием, которое могло бы быть вызвано осуществлением такого предприятия, а также с борьбой мнений относительно дальнейших следствий этого, я считаю весьма кстати дать популярные сведения о пустыне Сахаре. Нет страны в мире более интересной, чем великая пустыня Африки; ни одной, о которой так мало знали бы; ни одной, о которой так много рассказывали бы пленительных мифов и верили бы в них. С самых ранних времен истории это было место величавой тайны, место страшных и таинственных явлений, ужасных и превосходящих всякое вероятие происшествий. В действительности же Сахара не столько страшна, сколько грандиозна и удивительна, как удивителен океан или другое какое-либо проявление природы в гигантском масштабе, и, как океан, она может быть усмирена и служить человечеству, если приступить к этому надлежащим образом.

Несмотря на тот факт, что пустыню с незапамятных времен переходили туземные племена, перевозившие фрукты, шелка, ценные деревья и словеную кость из центральных мест к береговым поселениям, что она пересекается и до сих пор еще в известных пунктах важными караванными путями, до настоящего времени она еще почти не исследована цивилизованным миром. Сэр Ламберт Плейфер, д-р Эрван фон-Бари, де-Ленц и некоторые другие исследовали, правда, некоторые части ее в течение последних 30 лет, однако остаются еще большие пространства этой территории, на которые никогда не падал взгляд белого человека.

Топографически почти вся северная часть Африки — пустыня, в которой Египет и плодородные горные пункты вдоль Средиземного моря могут быть рассматриваемы как большие оазисы. Географически там три пустыни — Нубийская, <...>, Ливийская <...> и Сахара, или Великая пустыня, которая включает большое число небольших безводных трактов, распростирающихся как длинные руки далеко в плодородные страны к северу и югу от главного тела. Последнее представляет обширную сплошную пустыню почти две тысячи миль в длину от востока к западу и почти тысячу миль (в среднем) в ширину от севера к югу. Это составляет площадь приблизительно в 3 595 500 квадратных миль, площадь, равную всей Европе без Скандинавского полуострова. Политически Сахара принадлежит разным государствам, которые окружают ее или имеют протекторат над землями, лежащими близ нее. Отсюда Марокко, Турецкая империя, Италия и через Алжир и Тунис Франция владеют каждая приле-

жащей к ней частью; но главная часть принадлежит Франции <...>.

Пустыня Сахара имеет много весьма любопытных черт. Наиболее замечательная, может быть, это ее чрезвычайная резкость пограничного очертания. Ставши на северном склоне Атласских гор, мы видим под нами расстилающееся подобие моря, образующее резкую береговую линию вдоль его северного края, скрытые заливы и выдающиеся полуострова которого заняты рядом городов и деревень. К югу, как в Марокко и Алжире, пустыня кончается в некоторых местах так резко, что кажется будто отрезанной ножом, в других же местах она постепенно вливается в хорошо орошаемые и плодородные части Судана. Это подобие моря известных частей Сахары дало начало многим распространённым ложным представлениям относительно ее общего вида и имело даже влияние на идеи и фразеологию некоторых ученых писателей.

Она совсем не низкая песчаная равнина, как это часто предполагается. Она, скорее, страна очень разнообразной поверхности и неправильного рельефа. Неровные холмы бесплодной скалистой формации, известные под именем «хаммада», плато из плотной глины, мощные поля разбросанных камней и округленных водою гольшей, мелкие бассейны, наполненные очень соленой водою, и бесплодные степи, покрытые тощим кустарником, перемежаются со знаменитыми песчаными дюнами, которые дают своеобразный характер этой замечательной стране. Те ужасные пространства летучего песка, такого тонкого, что он действительно проникает в кожу путешественника и делает дыхание крайне болезненным, лежат главным образом к востоку, или, как говорят, в Восточном Эрге. В Ливийской пустыне такие места чрезвычайно обширны и беспредельны. В Западном Эрге <...> расстилается на 1 300 миль к северо-востоку широкий, от 50 и до 300 миль ширины, пояс дюн, называемых игиди или гиди (берберское слово «дюны»).

Эта страна с высот Алжира и Марокко выглядит как взволнованное бурей море. Дюны во всех частях Сахары лежат вообще длинными волнообразными рядами, очень похожими на волны океана, с покатым склоном к ветряной стороне и крутым скатом к противоположной. Обычно они от 60 до 70 футов вышины, но достигают, как говорят, в некоторых местах 300 футов. Песок, из которого они образованы, чрезвычайно тонок; в действительности это обломки скал, превращенные в пыль в течение веков силой ветра, тропической жарой дня и острым холодом ночи. При этих условиях достаточно малейшего ветерка, чтобы поднять целые облака пыли, хотя изумительные рассказы о страшных песчаных бурях, которые засыпают целые караваны, — просто сказки. Под влиянием ветра все дюны подвержены до известной степени постоянному изменению, но их равновесие таково, что в топографическом рас-

пределении они сравнительно постоянны. Некоторые из них имеют даже собственные названия, как Герн-аль-Шиф и Герн-Абз-аль-Кадер к югу от Голеа в Алжире.

Цвет песка дюн резко золотистый и при солнечном свете блестит и сверкает с поразительной яркостью. Каждое отдельное зерно красновато-желтое от присутствия железа и вообще кристаллического строения, как образовавшееся от бывшей части кварцевой скалы. Гнейс, гранит, известняк, графит и базальт — все представлено в каменной формации Сахары, но относительное распределение их еще полностью неизвестно. В центральной части пустыни к югу от Алжира находятся красные песчанниковые образования, пыль от которых, несомая к морю ветрами, производит своеобразные красивые эффекты неба, видимые иногда в известных частях Атлантики и особенно в Алжире, куда съезжаются художники со всех частей света изучать и копировать чудесное сочетание темно-малинового, пурпурного и янтарного цветов. Такой песок, происшедший в результате измельчения и рассыпания скал в силу попеременного сильного дневного нагревания и быстрого охлаждения ночью, является активным агентом выветривания. Во многих местах он сделал гладкими, как лед, плоские скалы хаммада. В других местах он исчертил вертикальные поверхности скал курьезными имитациями ледниковых борозд и помог вырезать столбы и столбовидные возвышения, которые <...> являются наиболее известными продуктами эрозии Сахары.

Что касается возвышенностей Сахары, то в этом отношении были сделаны некоторые общие измерения в последние несколько лет. Верхняя Сахара состоит из скалистого плато, нигде не ниже 1300 футов вышины, а местами переходящего в значительные вершины; нижняя, к которой плато спускается постепенно, представляет обширную низменность из глины и песка от 200 до 300 футов над поверхностью моря. Научное исследование пустыни показало, что в почве Сахары находятся все элементы плодородной почвы, там же существует много подземных потоков и резервуаров. Если эту драгоценную влагу вывести к поверхности с помощью сотен артезианских колодцев, правильно распределить по земле и дополнить это искусственными резервуарами для собирания воды от случайных дождей, то солидные источники плодородия существовали бы в самой Сахаре. Подобная операция уже была осуществлена на бесплодных пространствах в Северо-Американских Соединенных Штатах.

Было предложено много проектов орошения Сахары. Старый проект, впервые предложенный французским инженером полковником Рудэром и поддержанный, как вполне осуществимый, де-Лессепсом и другими компетентными авторитетами, никогда не отбрасывался в сторону. Затопле-

ние водами Средиземного моря наиболее низких частей Алжирской Сахары сделало бы плодородными бесплодные песчаные тракты, а ни в коем случае не превратило бы всю пустыню в обширное внутреннее море, как многие воображают, и ни в какой, даже самой малой, степени не повлияло бы на климат Европы, так как только 3 100 квадратных миль территории в форме двух различных озер в центральном и южном Алжире представляли бы все водное пространство.

Проф. Эшегуайен, однако, желает, построить более глубокий и более длинный канал, чтобы затопить много больше пустынной поверхности. Но нужно помнить, что, так как большая часть Сахары от 70 футов и до мили выше уровня моря, а те места, которые ниже уровня моря, главным образом — долины между холмами и горами или бассейны древних озер, не занимающая больших площадей, то Сахарское море состояло бы только из чрезвычайно неправильной формы водной поверхности, содержащей массу островов и вдающейся в незатопленные округа множеством заливов и бухт. Оно было бы значительно меньше 1/3 Средиземного моря.

Теперь возникают вопросы о важном влиянии, которое подобное море произвело бы на Землю. Оставляя в стороне политические и экономические влияния, остается обсудить возможное его физическое влияние. Наконец в прогрессе человеческого знания человечество испугалось силы своей собственной изобретательности!

Пишущий эти строки чувствует, что поскольку дело касается Сахарского моря, вся тревога напрасна. Нам угрожали, что смещением столь многих билионов тонн воды равновесие Земли было бы поколеблено.

Высчитаем это. Предположим, Сахарское море имело бы всю площадь в 250 000 кв. миль (сюда включены и сомнительные части пустыни, которые едва ли бы могли быть затоплены) и средней глубины в 200 футов. Так как одна квадратная миля содержит 27 878 400 кв. футов, вся указанная площадь содержала бы 6 969 600 000 000 кв. футов и 1 393 920 000 000 000 куб. футов. Деля эту сумму на 40 (число куб. футов, занимаемых одной тонной воды), получим: 34 848 000 000 000 тонн воды требуется, чтобы затопить Сахару, как предполагается. Если бы канал был прорезан через северный берег Африки, эти 35 тысяч билионов¹ тонн воды притекли бы из Средиземного моря и в то же самое время атлантические воды притекли бы в Средиземное море, пока не установилась бы одинаковая поверхность. Если бы канал был прорезан в западном берегу Африки, воды Атлантического океана втекли бы прямо без всякой видимой пертурбации Средиземного моря. В том и другом случае процесс был бы постепенным; за-

¹ Биллион во французской метрической системе был равен 10⁹.

топление пустыни не было бы внезапным стремительным наводнением.

Конечно, 34 848 000 000 000 тонн — большое количество воды. Та маленькая дуга Атлантического океана, которая образует береговую линию Штатов Новой Англии, Нового Брунсвика и части Новаскотии², представляет площадь, равную произведению 500 на 500 или 250 000 кв. миль, та же самая площадь, которую мы дали Сахарскому морю. В этой местности происходит ежедневно прилив и отлив, варьируя от 10 футов приблизительно вдоль мыса Код и до 60 футов в некоторых частях залива Фанди.

Допуская среднее 20 футов высоты прилива, получим все число тонн воды, бросаемых на эти берега два раза в день, ровно в 1/10 того, что потребовалось бы для Сахарского моря. Никто никогда не боялся, что эти смещения воды при приливе и отливе нарушат равновесие Земли. 35 тысяч миллиардов тонн воды в отношении к массе Земли бесконечно малая величина, в отношении к объему океана это капля в ведре. И предполагается, что это количество воды распределится в стране близ экватора. Немного размышления или опыт с шаром покажут, что так как Земля не в точности сферическая, а несколько утолщена у экватора и сплюснута на полюсах, то, чтобы отклонить ее настоящую ось, наклоненную на 23 1/2 градуса, необходимо было бы добавить вес к одному из полюсов. Вес же, прибавленный к экватору, не произвел бы никакого эффекта на равновесие оси.

Предупреждают также о перемене климата в Европе. Это более интересное возражение, так как более доступно и вероятно. В настоящее вре-

мя выпадает очень мало дождя в стране пустынь на севере Африки. Ученые согласны, что эта сухость обязана не окружающим горам, а различным физическим причинам самой страны. Может быть, присутствие обилия воды произвело бы дождь. Конечно, это означало бы, что температура там была бы менее высока, а по ночам не так было бы холодно; но сравнение с другими странами, окруженными морями в экваториальной зоне, показывает, что это одно не уменьшает температуру тропического климата до температуры умеренного пояса. Это устраняет одну из предположенных опасностей. Теплый климат островов Великобритании обязан теплому течению, омывающему их берега; весьма невероятно, чтобы удаление из Атлантического океана нужной для Сахарского моря воды вызвало бы какое-нибудь уклонение теплового течения. Этим устраняется другая опасность.

Третья и последняя опасность, которая находит всеобщую поддержку, состоит в том, что такое море значительно охладило бы ветры, которые дуют из Африки через Средиземное море к южной Европе. Много можно было бы написать об этом интересном вопросе, рассказать, как происходят ветры в этой стране, направление их, влияние и пр. Но здесь достаточно сказать, что в то время, как колонисты, имеющие населить берега Сахарского моря, наслаждались бы прохладно освежающим зефиром, дующим с вод вокруг их жилищ, не произошло бы какого-либо значительного изменения в африканских бризах, которые дуют через Средиземное море.

Провести канал, затопить пустыню, образовать море — в интересах мира и особенно Франции, и последняя должна это сделать, не откладывая дела в долгий ящик.

Перевод с английского А.Р.

² Речь идет об атлантической береговой линии США (штаты Новой Англии) и Канады (провинции Новый Брунсвик и Новая Шотландия).

От редакции

Сегодня, пожалуй, мало кого поразит грандиозностью плана, который предложил французский ученый почти 100 лет назад. (Кстати, его идея весьма схожа с описанным Ж.Верном планом образования Сахарского моря из вод Средиземного в романе «Вторжение моря».) Куда удивительнее другой проект — создание плотины через Гибралтарский пролив. Так Х.Зергель намеревался понизить уровень Средиземного моря примерно на 200 м: тогда-де Африка соединится с Европой и возникнет новый континент Атлантропа, которая станет единым экономическим и хозяйственным регионом. Но переустроить континенты Зергелю не удалось, его идея умерла вместе с ним.

Преобразование засушливых пространств продолжается и в XXI в. В пустыне эмирата Абу-Даби создаются искусственные озера из подземных вод, есть план озеленения северной части Сахары. Авторы нового наступления на пустыню предлагают построить гигантские теплицы, в которых использовалась бы морская вода. Сочетание солнечных электростанций термального типа и опреснителей позволило бы получать пищу, топливо, электроэнергию и питьевую воду буквально из ничего. Весьма заманчивая идея, чтобы ее осуществить, потребуется не менее 80 млн евро.

Попыток усовершенствовать Природу («исправить ее ошибки») несть числа, переделка ее для своих нужд начата человеком в незапамятные времена. Ныне она продолжается, но по-иному: новое время — новые технологии.

Новости науки

Астрономия

Телескоп Pan-STARRS полностью введен в строй

Несмотря на непрерывное развитие техники, важнейшая цель астрономии — постоянный всеволновой мониторинг неба — все еще остается недостижимой. Но в мае 2010 г. сделан существенный шаг к ее реализации.

На вершине потухшего вулкана Халеакала (Гавайские о-ва, США) начал регулярные наблюдения первый телескоп системы Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System — Панорамный обзорный телескоп и система быстрого отклика). Главная задача этой системы — постоянное патрулирование неба с целью своевременного обнаружения каких бы то ни было изменений. При этом основное внимание будет уделяться Солнечной системе, точнее, поиску неизвестных астероидов и транснептуновых объектов. Особо предполагается следить за потенциально опасными небесными телами: уже не раз случалось так, что пролетавший мимо Земли астероид удавалось заметить лишь после сближения с нашей планетой. Система Pan-STARRS призвана закрыть эту брешь в космической обороне Земли. Однако с ее помощью будут исследоваться и более далекие объекты, например вспышки сверхновых.

Всего система панорамного обзора состоит из четырех телескопов с 1.8-метровыми зеркалами, каждый из которых оснащен 1.4-гигапиксельной ПЗС-матрицей. Предполагается, что в «рабочем» режиме телескоп Pan-STARRS будет каждую ночь картографировать около 6000 квадрат-

ных градусов неба, генерируя несколько терабайт информации, так что ежемесячно полный обзор всего видимого с Гавайев неба (с учетом расположения Солнца и Луны) будет производиться три раза. Кроме того, уже на первом телескопе, введенном в строй, предполагается выполнять и специализированные наблюдательные программы, например поиск планет у других звезд и картирование Туманности Андромеды. Самые тусклые объекты, доступные Pan-STARRS, будут иметь 24-ю звездную величину.

<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu>

Физика

Графен — теплоотводчик

Для быстрого отвода тепла от рабочих элементов электронных и оптоэлектронных устройств требуются вещества с высокой удельной теплопроводностью k . Например, в компьютерах электрические межсоединения изготавливают из тонких медных пленок с $k \approx 250 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ при комнатной температуре. В связи с перспективой использования графена в нанoeлектронике встает вопрос об эффективности этого материала как теплоотводчика. Вообще говоря, в веществах из чистого углерода (в алмазе, графите, нанотрубках) теплопроводность очень велика, поскольку большой фонный вклад в нее вносят сильные ковалентные связи С—С. Недавние эксперименты американских ученых¹ показали, что у свободного графена при комнатной температуре $k \approx 5000 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, что в 2.5 раза больше, чем у алмаза — рекордсмена по теплопроводности

¹ Balandin A.A. et al. // Nano Lett. 2008. V.8. P.902—907.

среди природных материалов. Однако для практических целей нужно знать свойства графена, осажденного на подложку.

Дж.Сеол (США) с коллегами определили теплопроводность такого графена следующим образом². Сначала измерили k образца графен/SiO₂ как целого, а затем, после стравливания графена, — k подложки. Разность этих двух величин и показывает теплопроводность собственно монослоя графена. Она оказалась равной $\approx 600 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, что почти на порядок меньше, чем у свободного графена, но значительно больше, чем у меди. По мнению исследователей, причина уменьшения k графена при контакте с подложкой — это ван-дерваальсовское взаимодействие графена с неровностями подложки, приводящее к утечке в нее фононов.

В дальнейшем было бы интересно определить теплопроводность графена на металлических подложках, взаимодействие с которыми сильнее, чем с SiO₂.

<http://perst.issp.ras.ru> (2010. Т.17. Вып.9).

Физика

Визуализация структур сквозь непрозрачные слои

Любой способ микроскопического исследования биологических объектов наталкивается на существенное ограничение — непрозрачность покровных тканей, что не позволяет разглядеть структуры, лежащие под ними. И.Велленкуп (I.Vellenkoop; Институт физики Цюрихского университета, Швейцария) и Х.Агертер (Ch.Aegerter; Университет г.Кон-

² Seol J.H. et al. // Science. 2010. V.328. P.213—216.

станц, Германия) разработали новый метод флуоресцентной микроскопии: он дает возможность строить изображения светящихся объектов, которые заслонены оптически плотными наружными слоями тканей, рассеивающих свет. Чтобы реконструировать изображения, имеющие разрешение деталей меньше длины волны испускаемого света, используется рассеянный свет, приходящий от объекта.

Флуоресцентная микроскопия стала широко применяться в биологии после разработки метода мечения клеток и тканей флуоресцирующими белками и последующего наблюдения за распределением такой метки в живом организме. Рассеяние излучаемого света вышележащими тканями усложняет процесс получения четких изображений. Чтобы преодолеть эту трудность, предлагалось осветить объект лазерным светом, запомнить искажение волнового фронта рассеивающим слоем и затем промодулировать падающий пучок, который компенсирует эти искажения. В данном случае фокусировка осуществляется не линзами, а с помощью интерференции рассеянного света (так называемая интерферометрическая фокусировка).

Если теперь направить падающий свет под другим углом, фокусировка сохранится, но сам фокус сместится в фокальной плоскости, и это смещение будет зависеть от геометрии изучаемого объекта. Таким образом, наклоня падающий свет под разными углами, мы строим в фокальной плоскости изображение объекта. По сути это сканирующий оптический микроскоп, использующий монохроматическое излучение и позволяющий получить изображения с высоким разрешением, хотя регистрируемый свет — рассеянный. Однако для построения фильма, модулирующего падающий свет, требуется около 15 мин, так что метод применим пока лишь к твердым объектам.

Optics Letters. V.35. №8. P.1245–1247 (США).

Климатология

Снежный покров Северной Евразии

Скорость изменений климата — как в глобальном масштабе, так и в конкретных регионах Земли — не имеет аналогов по крайней мере в течение нескольких столетий — так отмечено в Четвертом рамочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменениям климата (МГЭИК). При глобальном осреднении наиболее значительно повышается приземная температура воздуха; существенные изменения касаются и других климатических параметров. Последствия наблюдающихся довольно резких перемен весьма неоднородны в пространстве и по сезонам.

По сообщению А.Б.Шмакина (Институт географии РАН, Москва), комплексным индикатором изменений климата, происходящих в холодный сезон, можно считать динамику снежного покрова. Автор провел статистический анализ характеристик снежного покрова в Северной Евразии в базовый период (1951–1980) и за годы современного потепления (1989–2006). Сравнение этих двух периодов позволило количественно оценить изменения, происходящие со снежным покровом в масштабе субконтинента.

Максимум накопления снега в Северной Евразии отмечается на востоке Камчатки. Согласно косвенным данным, еще большая аккумуляция снега происходит в причерноморских хребтах — в районе Красной Поляны (Краснодарский край). В континентальной части Северной Евразии наибольшая толщина снега формируется в среднем течении Енисея и в бассейне Подкаменной Тунгузки. На Восточно-Европейской равнине максимальные снежные запасы расположены в Предуралье и в бассейне р.Мезень. Минимальная толщина снега в Забайкалье и на юге Восточно-Европейской равнины.

В последние десятилетия в целом по Северной Евразии отмеча-

ется рост снежных запасов, однако в некоторых ее районах они снижаются. Наиболее значительное увеличение толщины снежного покрова происходит на юге Камчатки, на юге Сахалина, на востоке европейской части России и в Западной Сибири. В некоторых районах значительно чаще стали отмечаться погодные условия, благоприятные для ускоренного таяния снега и последующего пика талого стока. Прежде всего это относится к бассейну Печоры, по некоторым показателям — к верховьям Вычегды и Камы, а также к району Финского залива, среднему течению Оби и бассейну Анабара.

Лед и снег. 2010. №1(109). С.43–57 (Россия).

География

Дендрологические исследования якутских наледей

Когда по всей Сибири и Дальнему Востоку развернулись промышленные стройки (60–70-е годы), наметился всплеск исследований по проблемам образования наледей. С началом строительства северной ветки Амуро-Якутской железной дороги, нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан, каскада ГЭС в южной Якутии и других важных объектов потребовалось углубленное изучение наледных процессов. Большую актуальность имеют такие исследования и в связи с глобальными изменениями климата.

Наблюдения за развитием наледей в Центральной Якутии и их зависимостью от климатических и других факторов внешней среды вели сотрудники Института мерзлотоведения СО РАН им.П.И.Мельникова (Якутск). Наряду с этим в ходе проводившихся ботанических работ выяснялся характер влияния наледей и наледных процессов не только на развитие отдельных растений, но и на формирование структуры растительных группировок. В итоге была выявлена перспективность использования дендрологических методов

для изучения наледей. Однако прежде эти исследования в основном сводились к определению толщины наледи путем измерения механических повреждений стволов деревьев и сравнения динамики построенных дендрограмм с климатическими факторами. Как сообщает А.Н.Николаев, сотрудник того же института, в последние годы, когда проводились дендрологические исследования на наледях Булуус и Улахан-Тарын в Центральной Якутии, установлена тесная связь между развитием наледей и радиальным приростом деревьев.

Исследовавшаяся территория входит в среднетаежную подзону сосново-лиственничной тайги Центрально-Якутской провинции. Здесь в условиях сурового и резко континентального климата на песчаных и супесчаных мерзлотно-таежных почвах произрастают сосняки различных лишайниковых типов. Растительность на участках с наледями несет отпечаток их воздействия. Выражается это в малой продуктивности как господствующих, так и сопутствующих растений лесных и лугово-болотных сообществ, в запаздывании их фенологических фаз. Вблизи наледей все растения отличаются слабым ростом, что обусловлено поздним таянием ледяного массива и его охлаждающим эффектом.

По дендрологическим данным были определены этапы активного образования наледей, при этом выявлены климатические факторы, наиболее существенно воздействующие на процесс. Установлено большое влияние осенних осадков. На размерах наледных тел положительно сказываются осадки сентября и октября: чем больше их выпадает в эти месяцы, тем больше воды расходуется на формирование надмерзлотно-талого слоя; именно эта вода при выходе из-под песчаных грунтов идет на образование наледей. Иное влияние оказывают осадки последующих двух месяцев — ноября и декабря. Если они выпадают в виде снега,

то воздействуют как теплоизолирующее покрытие, которое, замедляя промерзание грунтов, вызывает уменьшение выхода подземных вод, что, в свою очередь, значительно сдерживает образование наледей. Высокие температуры марта и большое количество осадков в апреле способствуют увеличению размеров наледи; отсюда исследователи делают вывод, что большое количество осадков в мае способствует быстрому разрушению наледи.

На основе проведенных дендрологических исследований на тех участках, где действуют источники подземных вод Булуус и Улахан-Тарын, приводящие к образованию наледи, был сделан вывод, что наледные тела формируют своеобразный локальный микроклимат, определяющий условия произрастания деревьев. Сравнительный анализ радиального прироста деревьев (сосны обыкновенной и лиственницы Каяндера), проведенный с учетом динамики формирования наледей за последние два столетия, показывает, как влияют наледи на рост и развитие лесной растительности. Такой анализ позволяет также сделать качественную реконструкцию наледообразующих процессов на протяжении длительного времени.

Лед и снег. 2010. №1(109). С.93—101 (Россия).

Археология

Ранние люди расселялись далеко на север

Открытия последнего десятилетия показывают, что далекие предки современных людей вышли из Африки около 2 млн лет назад и расселились в Азии и Южной Европе. Хотя костные остатки этих существ, датируемые от 800 тыс. до 1 млн лет, были обнаружены в Испании и Италии, имелось очень мало данных о том, что особи вида *Homo sapiens* появлялись севернее Альп и Пиреней ранее 500 тыс. лет назад.

Однако такая картина стала меняться после того, как в 2005 г. в рамках междисциплинарной исследовательской программы АНОВ (Ancient Human Occupation of Britain), в которой участвуют более 20 ученых из Европы и Северной Америки, были найдены каменные орудия возрастом 700 тыс. лет на побережье Северного моря, к северу от Норвича. Надо подчеркнуть вместе с тем, что эта стоянка существовала в период межледниковья с весьма мягким климатом.

В том же 2005 г. геологи из АНОВ, работавшие в 60 км к северу, на побережье у Хэпписбурга, стали находить каменные орудия в погребенных слоях песка и гравия. За время между 2005 и 2008 гг. группа под руководством Н.Эштона (N.Ashton; Британский музей в Лондоне) и С.Парфитта (S.Parfitt; Университетский колледж Лондонского института археологии) обнаружила 78 таких орудий — крупных отщепов с острыми режущими краями.

Отложения, содержащие эти артефакты, датированы палеомагнитным и биостратиграфическими методами. Вместе взятые, датировки указывают, что люди жили в данном регионе 1 млн — 780 тыс. лет назад. Это самое раннее свидетельство поселения людей севернее 45°с.ш., на южной границе бореальной зоны. В то время, судя по видовому составу чувствительных к температуре жуков, найденных на месте раскопок, среднесезонные температуры в этом лесном районе колебались между 0 и -3°С (что по меньшей мере на 3°С ниже современных). Проведенная исследователями реконструкция климата указывает на скудость доступной растительной и животной пищи. По мнению авторов, это говорит о способности ранних людей не только мигрировать на север при благоприятном климате, но и выживать в новых условиях, приспособившись к его ухудшению.

Nature. 2010. V.466. P.229—233 (Великобритания).

Феноменология музейных духов

А.К.СЫТИН,
Ботанический институт им.ВЛ.Комарова РАН
Санкт-Петербург

Георгий Юрьевич Любарский — энтомолог-колеоптеролог, автор работ, посвященных изучению ряда таксономических групп жесткокрылых, а также монографий «Архетип, стиль и ранг в биологической систематике» (1996) и «Морфология истории» (2000). Широта интересов Любарского сопоставима с глубиной проникновения в предмет исследований, а потому опубликованный им историографический труд чрезвычайно содержателен и вместе с тем исключительно субъективен. Достаточно консервативный жанр деформирован, при этом произошло полифоническое переплетение тем: анализ развития разных разделов зоологии и теории эволюции, персональные судьбы лиц, причастных к двухвековому бытованию учреждения на фоне социальных катаклизмов мировой истории. Нелегко найти аналог столь масштабного замысла, выполненного одним человеком.

Важно и то, что весь огромный и разнообразный материал осмыслен и упорядочен не сторонним наблюдателем, а участником процесса, что придает особую достоверность повествованию, которое благодаря литературной одаренности автора обогащено остротой и терпкостью его слога. Методология историографии отечественного (или даже московского?) образца разительно отличается от картезианской рациональности европейских исследователей: го-

рячий, запальчивый спор (иногда с самим собой!) определяет высоту эмоционального градуса рассуждений о сущности науки, о природе познания, о множественности относительных истин, возникающих на пересечении направлений поиска. Смысловые корпускулы текста начинены взрывчатой массой и, детонируя, освобождают мощную энергию диалектики, провоцируя полемику, рождая откровения, казалось бы, не ожидаемые от сухой материи анализа научного творчества. У читателей это должно вызвать разнообразные реакции — от шока и бескомпромиссного несогласия до восторженного признания.

В убедительной реальности создаваемого автором мира он сам представляется духовным восприимчивым почти забытой традиции, проистекающей от кружка московских Любомудров — патриотически настроенных юношей-славянофилов, чрезвычайно образованных, воспитанных на идеалистической философии Ф.В.Шеллинга, гётеанстве, натурфилософии и романтической иронии. Но стиль научной эссеистики Любарского абсолютно современен. Его опыт блогера, одного из самых читаемых на интернет-сайте «Живой Журнал», отточен в дискуссиях с обитателями интерактивного пространства — людей, в большинстве своем далеких от академической проблематики, но остро заинтересованных в разгадке кардинальных вопросов бытия.

Видимо, отвага и бесшабашность духа научного поиска



Г.Ю.Любарский. ИСТОРИЯ ЗООЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ МГУ: ИДЕИ, ЛЮДИ, СТРУКТУРЫ.

М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 744 с.

в отечественной биологии ведется от влиятельнейшего основоположника московской зоологической школы — Карла Францевича Рулье. Лекции он нередко читал не в университетской аудитории, а в кофейной Печкина, за кружкой пива и с трубкой в зубах. Да и научная продуктивность Рулье измеряется не количеством опубликованных работ, а особым качеством «научного потомства». С.А.Усов, А.П.Богданов, Н.А.Северцов и Я.А.Борзёнов — зоологи чрезвычайно разные по научным устремлениям, сходятся принадлежностью к особой восточноевропейской традиции, которая, по мнению автора, противостояла направлению западноевропейской науки, олицетворяемому в биологии XIX в. аналитической методологией Ж.Л.Кювье. Событием, ставшим точкой бифуркации для размежевания этих направлений, стал знаменитый диспут сторонника постоянства видов Кювье с трансформистом Жоффруа де Сент-Илером, состоявшийся 19 июля 1830 г. в Парижской академии наук. Синтетический метод Сент-Илера высоко оценил И.В.Гёте, увидевший в нем возможность «глубоко заглянуть в действующие и созидательные силы природы»*.

Авторитет Гёте как арбитра в важном споре во многом определил дальнейшее направление идеи развития для эволюционной морфологии, притом не только для зоологов, но и для ботаников, особенно почитающих его учение о метаморфозе. Посредничество Рулье, который, подобно умному садоводу, прививал идеи, словно черенки и почки к подвою дерева русской биологии (особенно ее московской ветви), было осознано предшественниками Любарского, видимо, не в полной мере. В его книге Рулье предстает не столько трансформистом или предтечей дарвинизма, сколько оригинальным мысли-

телем, создателем общей биологической теории. Эта система знания так и не возникла в полной и связной форме, хотя Рулье «постоянно занимался разработкой труднейших частей любимой им науки, которая еще при зарождении встретила противника в лице Кювье и защитника — Гёте» (с.168).

Общность школы отмечена некоторыми чертами: «слегка презрительное отношение к систематике, стремление к теоретизированию и обобщению, непривычка к “черному” зоологическому труду и накоплению фактов» (с.160). Таковы, по представлению автора, ее «барские» свойства. «Все ученики Рулье были чрезвычайно независимыми людьми, и они не собирались отдавать жизнь чьему-то представлению о том, как должен выглядеть “настоящий ученый”. Богданов занимался научной популяризацией и организацией, Усов — искусством, Борзёнов — философией и историей, они жили в свое удовольствие и то, что у них получалось, становилось русской культурой» (с.163). От себя добавлю: культурой дворянской, а точнее, поместной, порой оборачивающейся полубразованностью, несмотря на природную даровитость ее носителей. Барскую спесь, разбросанность и неосновательность «наших великих умов», которые принесли человечеству «труждающиеся и обремененные» европейские ученые, предьявил Ф.М.Достоевский в образе литератора Кармазинова в «Бесах». Суетная гордыня персонажа весьма симптоматична для русского верхоглядства. Кармазинов «над великими умами Европы возвысился; все они лишь материал для его каламбуров. Он берет чужую идею, приплетает к ней ее антитезу, и каламбур готов. Есть преступление, нет преступления; правды нет, праведников нет; атеизм, дарвинизм, московские колокола...»**.

Шовинистическая тенденция оказывалась весьма жизнеспособной в нужное время и в нужном месте. Как мы уже не раз убеждались, особенно в политизированном XX в., она проявлялась то в поиске мнимых приоритетов отечественной науки, то в эпидемии подлинной бевосщины — лысенковщины. Значит ли это, что московские зоологи были дилетантами?

«Достаточно было прослушать две-три из таких бесед, чтобы понять, насколько чужд был Сергей Алексеевич дилетантизма, насколько глубоко и основательно изучал все, за что принимался», — вспоминал об Усове его ученик М.А.Мензбир. По оценке Любарского, Усов — глубокий теоретик таксономии, последовательный номиналист-систематик. Однако его позиция далеко не формальна, так как Усов был опытным натуралистом и, что очень важно, одним из первых, кто остановился на неравнозначности таксономических подразделений. По его представлению, «таксономические категории — это трансцендентальные образы разных объемов. С другой стороны, для него таксоны — это естественные группы, образованные по сходству. <...> Точно так же “работает” архетип у Гёте: просматривая живые организмы, мы постепенно постигаем типы и затем группируем организмы в таксоны в соответствии с типами. Надо отметить также, что в этом Усов следует за Рулье» (с.165). Любарский считает особым достижением московской школы переосмысление целей зоологии и ее переход «от наук предметных к наукам аспектным. При этом самих этих аспектных наук — зоогеографии, экологии, этологии, филогенетики — еще не существовало, так что задачей Рулье было не просто перевести внимание научной школы с одного существующего предмета на другой, а творческая разработка этого нового круга зоологических наук» (с.163).

* Эджерман И.П. Разговоры с Гёте. М., 1981. С.630.

** Достоевский Ф.М. Собр. соч.: В 15 т. 1990. Т. 7. С. 447.

В фокусе исследования Любарского — бытование одного учреждения «как научной организации на фоне истории России и развития московской зоологии». «Московская» зоология — феномен, пожалуй, исключительно российский, сопряженный с вечным соперничеством двух столиц. Противостояние петербургской и московской школ как бинарная оппозиция открывает возможность для семиотических упражнений. Поляризация может быть усилена также и за счет взаимодействия «отечественного» и «иноземного» элементов, особенно актуального в России дореволюционной, где противоборство русских ученых с «немцами» порой приобретало весьма конфликтный характер. Любарский упоминает, например, что Анатолий Петрович Богданов, длительный срок возглавлявший музей, не раз высказывался о том, что наука может быть национальной, русской, и спорил с теми, кто уповал на ее всемирно-универсальный характер. Но если в Российской империи национальная самоидентификация науки в известной степени смягчалась полицентрической системой научных школ, которые складывались преимущественно вокруг университетов (Дерптского, Казанского, Харьковского или Томского), а также широкими международными контактами русских ученых, учившихся или стажировавшихся в европейских университетах, то во времена советского изоляционизма ксенофобия приобрела уже совершенно параноидальный характер. Научное администрирование Академии наук СССР покровительствовало развитию систематике преимущественно в двух учреждениях Ленинграда, где сосредоточены крупнейшие коллекции растений (Ботанический институт) и животных (Зоологический институт). Таким образом, стремление к самобытности корпоративного духа университетской независи-

мости уравнивало тенденцию бюрократизации, централизации и монополизма в науке. Любопытно, что история коллекций Зоомузея не выделена в самостоятельный раздел, хотя в разных частях книги мы узнаем о движении коллекций в начале 1860-х годов (при Богданове), о некоторых принципах организации коллекций, о приобретениях и утратах материалов. В частности, рассказано об энтомологических коллекциях Х.Х.Стевена (5 тыс. видов жуков и почти вдвое большее число экземпляров), открывших зоологическую ипостась натуралиста, известного больше как ботаника и основателя Никитского ботанического сада в Крыму, а также об экспедициях как основных источниках коллекций и типовых экземпляров — эталонов описываемых видов.

Пожалуй, лучше всего Любарскому удалось проследить сложную ткань живого развития идей. В этом анализе он совершает подлинные открытия. Такова оригинальная концепция, объясняющая феномен биологического разнообразия. Сформулировал ее в 1911 г. Юрий Аполлонович Белоголовый, который к тому же создал гипотезу развития позвоночных, ныне забытую. Изучение сравнительной морфологии затылочного отдела черепа показало, что структурные особенности определяются преимущественно функционально, а не генеалогически. Это позволило бы значительно расширить понятие о гомологии как об основополагающем принципе сравнительного метода. Впоследствии Белоголовый не ужился с А.Н.Северцовым, эмигрировал и, видимо, оставил науку. Дальнейшее развитие школы Северцова игнорировало самобытную теорию Белоголового, исключив возможность альтернативной точки зрения. Можно предположить, что этический аспект второстепенен в позитивной картине мира науки, и это положение будто бы под-

тверждает философская сентенция автора: «Наука является сложной системой и изменяется по своим внутренним трендам, а внешние поводы есть лишь регуляторы, переключатели стрелок на системе возможных путей развития» (с.109).

Как бы ни была имманентна наука, ее создают люди, а потому и раздел «Персоналии» не ограничен лишь перечнем формальных анкетных данных; он насыщен острыми характеристиками персонажей. Социальная структура советского учреждения первых послереволюционных десятилетий от директора до препаратора-таксидермиста представлена необычайно ярко. Порой кажется, что именно в Зоомузее обитали прообразы социальной фантазмагии Михаила Булгакова. Литературный гротеск культивировал энтомолог Б.С.Кузин — летописец музея, причастный к московскому окружению поэта О.Э.Мандельштама. Эту традицию успешно продолжал Любарский. Его текст насыщен яркими эпизодами. К примеру, описан традиционный для празднования Татьянинного дня обряд — директор Зоологического музея должен перепрыгнуть через чучело бегемота. Автор, опираясь на источники и музейный фольклор, реконструирует развитие обычая: в стародавние времена испытание было значительно более сложным — прыгали через носорога, и некогда профессор С.И.Огнёв, зацепившись штанами за рог, оторвал чучелу голову. Достоверность факта подтверждает и экспертиза сохранившегося до наших дней экспоната. Татьянин день как нельзя лучше передает дух веселого демократизма Московского университета.

Многие биографические очерки персоналий, составленных Любарским, содержат зародыши новелл и даже романов. При этом кроме штатного состава он уделяет внимание лицам, не состоявшим на службе в музее, но чрезвычайно обога-

тившим науку, Таков, например, В.В.Леонович — орнитолог-любитель, путешественник, искусствовед и антропософ. Он пытался изучать птиц в их единстве со средой, и потому так гармонично влетались в его жизнь сбор гнезд и яиц, наблюдение птиц в природе, составление фонотеки птичьих голосов. «В этой области ему не было равных. Обладая идеальным музыкальным слухом, он мог с одного-двух раз на долгие годы запомнить не только песню, но даже позывку впервые услышанной птицы» (с.567). Свою замечательную оологическую коллекцию Леонович передал в Зоомузей, а собранные вместе Б.Н.Вепринцевым звуки птичьего пения вошли в уникальную фонографию «Птицы СССР. Определитель по голосам». Другой пример — Б.В.Старк, ученый-металлург, коллекционер жуков, внесший значительный вклад в энтомологию.

Просветительство в самом высоком значении этого слова одухотворяет взаимодействие профессиональной науки с натуралистами-любителями и может корректировать квалифицированную коллекционерскую деятельность. В противном случае она бесполезна и даже вредна. Богданов, 33 года возглавлявший Зоомузей, по словам его ученика Н.М.Кулагина, «был не только крупный ученый, но и... великий “улавливатель людей”... обладал талантом угадывать способности, угадывать своих учеников и окружающих его любителей естествознания» (с.489). Бесценное качество педагога. Просветительская миссия выполнялась сотрудниками музея удивительно плодотворно. Достаточно упомянуть об энтомологическом кружке Е.М.Антоновой; среди ее учеников немало тех, кто стал профессиональным биологом (в том числе и сам Любарский), сохранив благодарную память

и полезные навыки знакомства с методологией науки.

Безусловно, огромный труд Г.Ю.Любарского не свободен от ошибок и опечаток. Странно, например, помещение небольшой статьи об Эрнсте Геккеле в персоналиях — германский основоположник теоретической биологии не имел прямого отношения к музею. Удивляют и несправедливое пренебрежение в оценке Н.В.Турбина — «биолог лысенковского толка» (с.317), и ошибка в имени известного московского орнитолога Бутьева, которого зовут не Валерий, а Владимир Трофимович. Этот список досадных неточностей велик и, как ни печально, несколько умаляет достоинства книги. Но все же сущность ее уникальна — в малом микрокосме, жизни скромного научного учреждения, отражены мировые катаклизмы, проблемы теоретической биологии, истории науки и истории социальной. ■

Гидробиология. Экология

В.О.Мокневский. ЭКОЛОГИЯ МОРСКОГО МЕЙОБЕНТОСА. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 286 с.

Термин «мейобентос» ввел в науку М.Мэр (M.Mage) в середине XX в. для обозначения совокупности микроскопических многоклеточных, выпадающих из внимания исследователей морского бентоса при учете донной фауны. В это время одним из основных направлений стало изучение количественно-

го распределения жизни в Мировом океане. Попытки создания энергетических моделей привели к необходимости выделить три размерных группы в составе донного сообщества: микро-, мейо- и макробентос.

В книге сделана попытка обобщить как собственные исследования автора и его коллег, так и публикации последних десятилетий. Приводится обзор основных методов сбора и обработки мейобентосных проб. Таксономические очерки знакомят читателя с разнообразием микроскопических многоклеточных. Даны определе-

ния основных терминов и концепций мейобентологии. На обширном материале описаны основные закономерности пространственного размещения мейобентоса (от квадратных сантиметров до широтных зон) и структуры таксоценов его отдельных групп. Приводятся сведения о количественном распределении мейобентосных организмов в океане, их питания и роли в трофических цепях.

Книга предназначена для гидробиологов и экологов, интересующихся микроскопическими многоклеточными.

Первая российская высокоширотная экспедиция

Л.М.Саватюгин,
доктор географических наук
М.В.Дорожкина

Арктический и Антарктический
научно-исследовательский институт Роскомгидромета
Санкт-Петербург

*Колумбы Росские, презрев угрюмый рок,
Меж льдами новый путь отворят на восток...*
М.В.Ломоносов

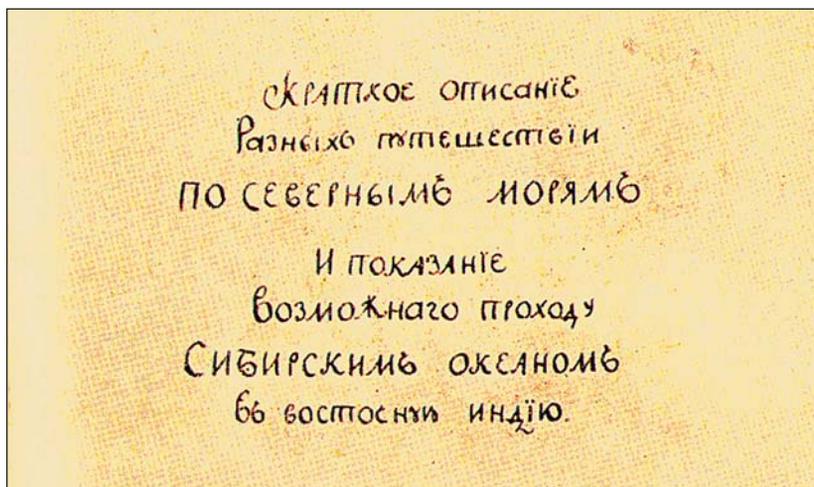
Еще в 1755 г. М.В.Ломоносов в «Письме о северном ходу в Ост-Индию Сибирским океаном» изложил свои мысли по проблемам изучения Севера России, оставшиеся, однако, без должного внимания. Начавшаяся Семилетняя война (1756—1763) надолго приковала интересы правительства России к Прибалтике. Только после окончания войны великий русский ученый вновь поднял вопрос об отыскании Северо-восточного морского пути.

20 сентября 1763 г. Ломоносов передал президенту Адмиралтейств-коллегии великому князю Павлу Петровичу сочинение «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию». В этом сочинении, а также в последовавших затем первом и втором «Прибавлениях» Ломоносов впервые научно обосновал и доказал возможность плавания по Северному морскому пути. Выступая за широкое исследование Арктики русскими учеными, он писал: «Могущества и обширности морей, Российскую империю окружающих, требуют рачения и знания. Между прочим, Северный океан есть пространственное поле, где... углубиться может Российская слава, соединенная с беспримерною пользою через изобретение восточно-северного мореплавания в Индию

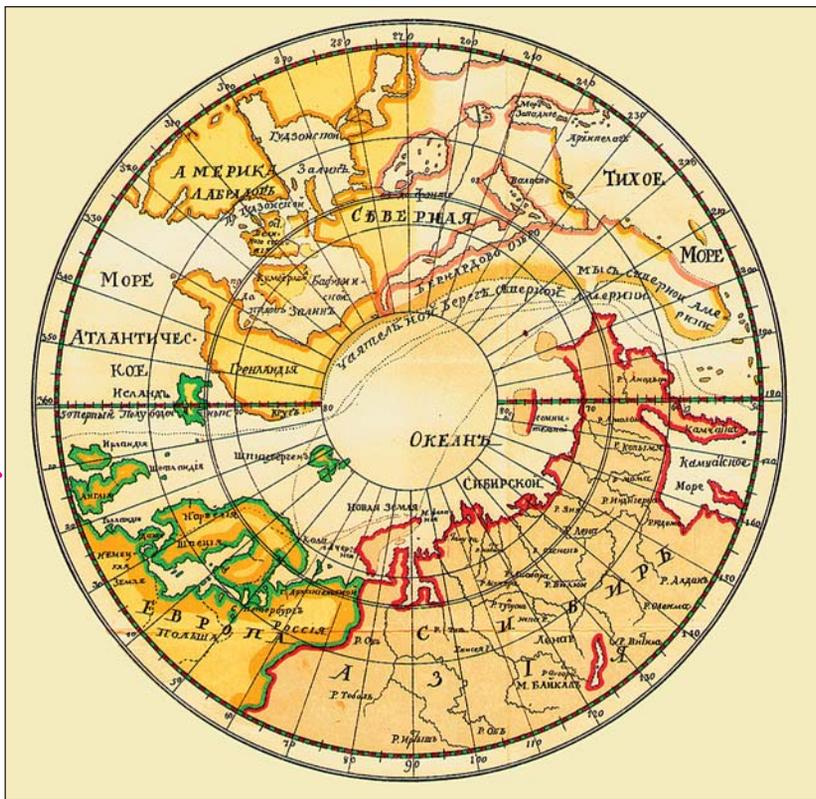
и Америку» [1]. Исходя из своих научных представлений об Арктике, Ломоносов разработал план первой высокоширотной российской экспедиции, согласно которому предполагалось направить корабли из Архангельска к северо-востоку от мыса Желания на Новой Земле и далее к Чукотскому мысу.

22 декабря 1763 г. «Краткое описание...» поступило на рассмотрение Морской Российской флотов комиссии, чтобы в случае одобрения быть представленным на утверждение императрице Екатерине II. Прежде всего комиссия вызвала из Архангельска в Санкт-Петербург поморов, бывавших ранее на (Груманте) Шпицбергене и Новой Земле, а также затребовала из Крон-

штадта и Ревеля матросов, имевших опыт плавания в Баренцевом море. В марте 1764 г. они были опрошены в Адмиралтейств-коллегии, сообщив много ценных сведений об условиях мореплавания в Северном Ледовитом океане. Особый интерес вызвал рассказ А.К.Корнилова из Онеги, который много раз ходил на Шпицберген и трижды зимовал на архипелаге. Наблюдения Корнилова над движением льдов в районе Шпицбергена подтвердили предположение Ломоносова, что течение, идущее вдоль западного побережья архипелага, направлено на север. Это обстоятельство впоследствии определило выбор нового варианта маршрута экспедиции. Рассмотрев проект Ломоносова



Заглавный лист одного из списков к рукописи М.В.Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию».



Полярная карта, приложенная к рукописи М.В.Ломоносова.

и приняв к сведению сообщения поморов, комиссия, тем не менее, не смогла высказать о нем определенного суждения и передала его на рассмотрение Адмиралтейств-коллегии.

14 мая 1764 г. императрица Екатерина II подписала секретный указ о снаряжении экспедиции по отысканию Северо-восточного морского прохода. Указ гласил: *«Для пользы мореплавания и купечества на восток наших верных подданных за благо избрали мы учинить поиск морского проходу Северным океаном в Камчатку и далее. Того ради всемилостивейше повелеваем, не упуская времени, положить сему предприятию начало нынешним летом, под именем возобновления китовых и других звериных и рыбных промыслов на Шпицбергене...»* [2. С.306]. Экспедиции на трех морских судах предписывалось выйти из Архангельска к западному побережью о. Западный Шпицберген, затем проследовать к берегам

Гренландии и далее, через Арктический бассейн, — к Берингову проливу. Во главе экспедиции надлежало поставить *«искусного и надежного офицера»* и с ним двух *«бывалых и знающих людей»*. В состав экспедиции также следовало принять *«бывалых на оном Шпицбергене и на Новой Земле искусных тамошних кормищиков и мореходцев»*. На суда предполагалось погрузить провиант на три года, оружие и промысловые избы на случай зимовки. Офицерам жаловалось *«для ободрения»* повышение в следующий чин и по достижении цели экспедиции — новый ранг. Во время плавания всем участникам экспедиции предусматривалась выплата двойного жалования. На цели экспедиции казна ассигновала 20 тыс. руб.

На заседаниях Адмиралтейств-коллегии при участии Ломоносова в мае 1764 г. был разработан общий план экспедиции. Прежде всего, план предусматривал организацию в мае

на Шпицбергене зимовочной базы и подготовку двух поморских судов, пинков, и одного бота. На заседаниях коллегии было принято решение о снабжении экспедиции промысловым инвентарем и специальной полярной одеждой. Особым реестром Адмиралтейств-коллегии определена состав общим числом 191 человек, включая поморов.

1 июня 1764 г. на очередном заседании Адмиралтейств-коллегии в соответствии с указом Екатерины II от 28 мая 1764 г. было принято решение о переносе экспедиции на лето 1765 г. В связи с новыми сроками коллегия постановила построить специальные суда, приспособленные к плаванию во льдах.

10 июня 1764 г. Адмиралтейств-коллегия в отсутствие Ломоносова вместо ранее назначенного и затем отстраненного М.И.Рябинина командиром экспедиции был назначен капитан 1-го ранга Василий Яковлевич Чичагов (1726—1809).

Чичагов родился в 1726 г. в Костромской губернии в старинной дворянской семье. По окончании курса в Школе навигацких наук был направлен для продолжения обучения в Англию. Весной 1742 г. зачислен во флотскую службу гардемаринном, в 1744 г. назначен состоять при Ревельской береговой команде, а через год произведен в мичманы. С 1751 г. — корабельный секретарь, через четыре года произведен в лейтенанты. В 1757 г. Чичагов на судне «Святой Михаил» совершил плавание с секретной миссией в Зунд. В 1758 г. получил чин капитан-лейтенанта, через четыре года — капитана 2-го ранга. В 1764 г. в чине капитана 1-го ранга командовал кораблем «Ревель». По отзывам современников, Чичагов отличался некоторой нерешительностью и излишней осторожностью и, кроме того, не имел опыта плавания в северных морях.

Его помощниками были назначены капитан-лейтенант Василий Бабаев и капитан 2-го ранга Никифор Панов. В свою

очередь, их помощниками были определены лейтенанты Петр Бурноволок, Федор Озеров и Петр Поярков.

Для организации зимовочной базы на Шпицбергене Архангелогородская контора сформировала флотилию из шести судов под командованием лейтенанта Михаила Немтинова. В состав флотилии вошли флагманский пинк «Слон» и арендованные у архангельских купцов суда — гукоры «Св. Дионисий», «Св. Иоанн», «Св. Михаил», «Св. Наталия» и «Св. Николай».

4 июля 1764 г. Немтинов на пинке «Слон» вышел из Архангельска и 5 августа прибыл на Шпицберген в район залива Клокбей. 6 августа туда подошли гукоры, за исключением «Св. Дионисия», который из-за сильной течи вынужден был вернуться в Архангельск. Разведка фарватера, произведенная унтер-лейтенантами Григорием Шипуновым и Моисеем Рындиным, показала, что в заливе Клокбей имеется лишь очень узкий и мелководный проход глубиной 12 футов при полной воде. По совету промышленника Михаила Амосова, судно которого Шипунов и Рындин встретили в одной из внутренних бухт, для стоянки экспедиции был выбран Зюйдовый залив, на берег которого выгрузили строительные материалы и продовольствие. К 20 августа построили пять изб, амбар и баню. Немтинов с пинка «Слон» выполнил съемку залива Клокбей с указанием фарватера и места зимовки и произвел ледовые наблюдения. 22 августа суда экспедиции покинули Шпицберген и спустя месяц прибыли в Архангельск. На зимовку в Зюйдовом заливе осталось 16 человек во главе с унтер-лейтенантом Рындиным. Плавание Немтинова подтвердило предположение Ломоносова и показания поморов о том, что западное побережье архипелага Шпицберген летом свободно ото льдов.

К 1 августа 1764 г. в Архангельске на воду были спущены три судна экспедиции (одно дли-

ной в 90 футов и два — по 72 фута), названные по именам своих командиров «Чичагов», «Панов» и «Бабаев». Суда были построены по чертежам и под руководством английского корабельного мастера Джеймса Лембе и имели двойную обшивку.

Перенос основного плавания на лето 1765 г. позволил Ломоносову заняться подготовкой научных приборов и инструментов, а также составлением инструкции для экспедиции. Она предписывала судам экспедиции идти от Шпицбергена к берегам Гренландии или Северной Америки, а оттуда *«следовать в правую руку, в виду одного берега, с мыса на мыс перенимаясь и ото льдов... предостерегаясь»* [1]. Ломоносов особо отмечал: *«Если случатся великие льды промеж гренландских берегов и между северным концом шпицбергенским, поперец намеренного пути лежащие, то не оставлять надежды и без невозможнейшего покушения в продолжении пути не возвращаться, но употребить в пользу время и место. Временем пользоваться, ожидая случая, когда льды разойдутся, ибо известно, что их с места на место переносят воды и ветры, летняя теплота и трение о землю и друг о дружку истребляет. Место употреблять для выгоды своего путешествия должно, переходя от гренландских берегов к западно-северному концу шпицбергенскому и осматривая сквозь льды в надлежащий путь проход»* [1].

Инструкция содержала указания о необходимости производить в плавании метеорологические и астрономические наблюдения, определять глубины и течения моря, записывать склонение компаса, описывать характер берегов и островов, отбирать пробы воды, собирать минералогические и зоологические коллекции, вести этнографические наблюдения. В ней давались подробные указания, как заполнять корабельные журналы, обнаруживать мели,

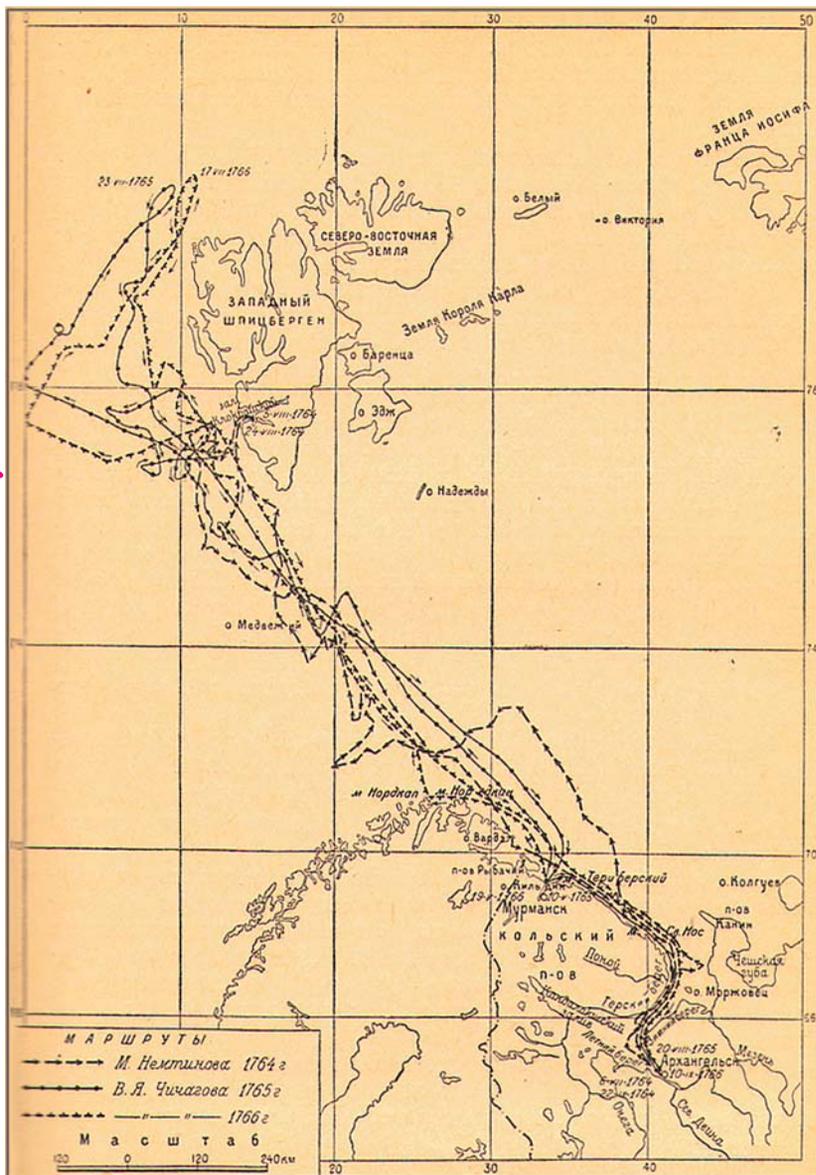


В.Я. Чичагов.

определять расстояние до берега и т.д.; она предостерегала суда от случайного захода в проливы Канадского архипелага и море Баффина. В случае невозможности достичь намеченной цели плавания в одно лето судам надлежало идти обратно или же зазимовать в удобном для того месте.

Благодаря стараниям Ломоносова экспедиция была снабжена лучшими для своего времени навигационными, астрономическими и метеорологическими приборами и инструментами. На каждое судно были выданы часы, гадлеев квадрант, подзорные трубы, наклонительные магнитные стрелки, морские барометры, термометры, астрономические таблицы, карты и выписки из корабельных журналов Великой северной экспедиции. Ломоносов лично обучил штурманов и штурманских учеников экспедиции работе с приборами и инструментами.

10 мая 1765 г. суда экспедиции «Чичагов» (с командой в 76 человек), «Бабаев» и «Панов» (с командами по 51 человеку) вышли из Колы по направлению к Шпицбергену. Ломоносов об этом уже не узнал: он скончался после тяжелой болезни незадолго до выхода кораблей в море, 15 апреля 1765 г.



Карта плаваний экспедиции по отысканию Северо-восточного морского прохода.

16 мая суда экспедиции достигли о. Медвежий, где вынуждены были задержаться до 25 мая из-за сильных северных ветров. 5 июня на $77^{\circ}09'$ с.ш. (к западу от залива Клокбей) корабли были окружены льдами и более суток выбирались на чистую воду. Встретив по пути несколько иностранных китобойных судов, 16 июня флотилия Чичагова вошла в залив Клокбей. 17 июня в 2 ч ночи на флагманское судно с докладом о зимовке прибыл унтер-лейтенант Рындин.

Пополнив запас продовольствия, участники экспедиции 26 июня были готовы к выходу в море, однако неожиданно, угрожая раздавить суда, бухту стало забивать льдом. Ценой невероятных усилий морякам удалось спасти получившие сильные повреждения корабли и 3 июля покинуть залив Клокбей. 7 июля суда вышли на чистую воду, и «в силу данной от Государственной Адмиралтейской коллегии инструкции, призвав Бога в помощь, пустились в открытое море к западу, склоняясь

румб к северу по правому компасу...» [2. С.391]. 8 июля экспедиция находилась на $77^{\circ}41'$ с.ш., свободное ото льда море и попутный ветер внушали надежду на благополучное достижение цели. Но уже на следующий день надежды на изыскание «повеленного пути» стали таять.

9 июля корабли экспедиции вновь вошли в лед, погода испортилась, опустился густой туман. Лавируя в тумане среди льдов, чтобы избежать случайного столкновения, на судах били в барабан, звонили в колокол, палили из пушек. 16 июля ненадолго вышло солнце, и мореплаватели смогли определить свое местоположение — суда находились на $78^{\circ}15'$ с.ш. 17 июля корабли вновь продолжили плавание среди льдов в тумане: «Погода пасмурна. И по большей части густой, а иногда редкой туман. Воздух весьма холодный, так что такелаж весь обледенел. И когда поправляли парусы, то лед с веревок валился на палубу» [2. С.392]. 21 июля участниками экспедиции был «усмотрен меж норда и веста и меж норда и оста отменно светлостью воздух, что уверяет о находящихся в той стороне льдах. Для чего взято намерение, чтоб идти к земле Шпицбергена, и буде там льдов нет, то простираться плаванием к северу, пока возможность будет» [2. С.392]. Вскоре мореплаватели увидели землю, определение местоположения судов по счислению показало $79^{\circ}13'$ с.ш. Следуя в виду земли, 23 июля корабли достигли «самой оконечности Шпицбергена, востовая сторона» на $80^{\circ}26'$ с.ш. Впереди простиралась гряда сплоченных льдов. 24 июля, пытаясь обойти эту гряду, суда экспедиции отошли к югу на $80^{\circ}21'$ с.ш. Отступая день за днем перед ледовой преградой, 28 июля участники экспедиции оказались уже на $78^{\circ}30'$ с.ш.

29 июля после совещания командно-офицерского состава экспедиции было принято решение прекратить дальнейшие

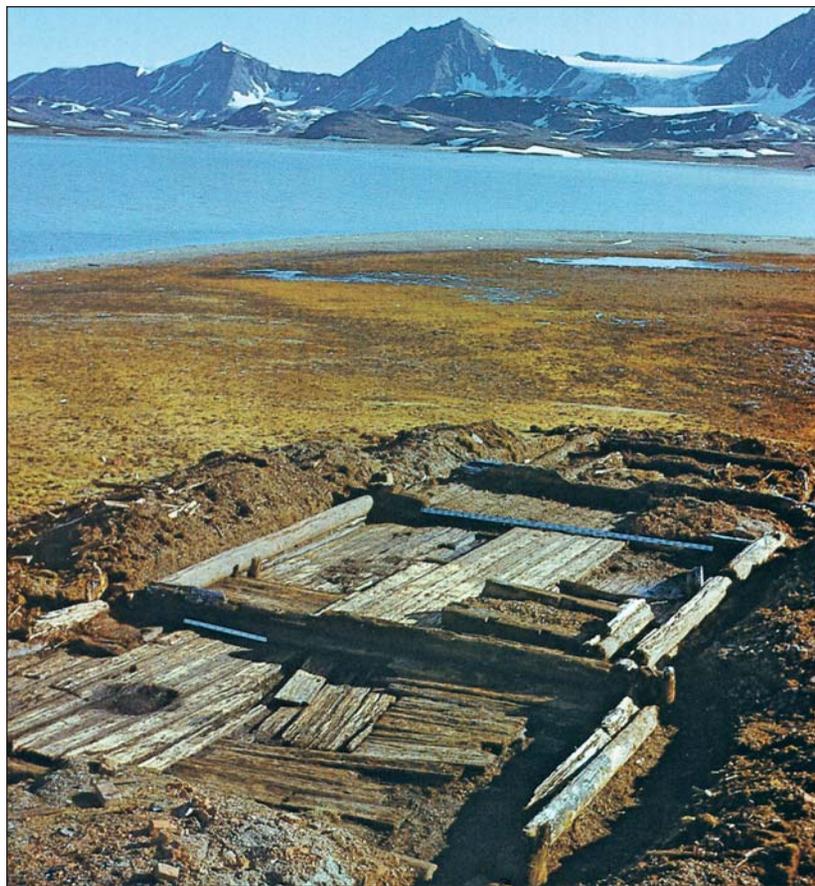
поиски «повеленного пути» и возвращаться в Архангельск. «Ибо во все время нашего плавания до Гренландии льдами были не допущены. Тако ж и северного проходу, за множеством густых льдов, не усмотрено» [2. С.393]. По предложению Чичагова совещание особо отметило, что, «не имея никакой надежды ко исполнению предпринятого намерения за непреодолимым препятствием от льдов, долее оставаться в море почтено за бесполезное» [2. С.394].

30 июля суда экспедиции были на 76°32'с.ш., а 31 июля — на 75°53'с.ш. Не заходя в залив Клокбей для смены зимовочного состава, корабли проследовали далее и 1 августа миновали о.Медвежий. 6 августа экспедиция подошла к о.Кильдин и 20 августа прибыла в Архангельск.

Первое плавание по отысканию морского прохода Северным океаном в Камчатку и далее было окончено.

22 августа Чичагов послал в Адмиралтейств-коллегию «покорнейший репорт», в котором изложил историю неудачного плавания экспедиции и сделал заключение, что «за неизмерным количеством льда во все время нашего плавания как Гренландского берега, так и сквозь льды проходу не усмотрено. И по всем видимым нами обстоятельствам северный проход, за непреодолимым препятствием от льдов, невозможен» [2. С.394].

12 сентября, после сличения рапорта Чичагова с данной ему инструкцией, коллегия пришла к выводу, что плавание экспедиции проходило с нарушением инструкции. При этом особо коллегия отмечала, что «самое время плавания их весьма кратко; из чего является, что не было для сего столь важного намерения, ни довольно терпения, ни нужной в таких чрезвычайных предприятиях бодрости духа; и как ей рассуждается, долее в море остаться б можно было» [2. С.397). Вице-президент коллегии граф И.Г.Чернышев в письме к Чичагову писал, что



Остатки построек зимовочного лагеря экспедиции В.Я.Чичагова.

в крайнем случае судам экспедиции следовало остаться на зимовку в заливе Клокбей: «тогда б мы изыскали какой-нибудь способ прикрыть падающий на российских мореплавателей неизбежной стыд о малотерпеливости их бытия в неизвестных водах и приказали бы вам — или в здешние порты возвратиться, или какой-нибудь другой вояж сделать, дабы тем неудачливое предприятие прикрыть и тем избавиться от насмешки, которая неминуемо последовать должна» [2. С.398].

Между тем положение оставшихся на Шпицбергене зимовщиков во главе с Рындиным с каждым днем ухудшалось. В соответствии с планом Адмиралтейств-коллегии 2 июля 1765 г. для смены зимовочного состава в заливе Клокбей из Архангельска вышел пинк «Лапоминк» под командованием лей-

тенанта Немтинова. 20 июля судно подошло к Шпицбергену, где встретило тяжелые льды. В сложных погодных условиях «Лапоминк» в течение почти месяца пытался пробиться на выручку отряду Рындина. 15 августа, когда на судне стали заканчиваться запасы пресной воды, команда приняла решение вернуться в Архангельск.

В заливе Клокбей тем временем более половины зимовщиков было больно цингой, избы зимовки находились в плачевном состоянии, на исходе было продовольствие. Несмотря на это, участники зимовки продолжали нести свою вахту и не покидали зимовья. В заливе Клокбей в это время находилось промысловое судно двинянина Василия Абрамова Меньшакова. С ним 1 августа 1765 г. Рындин отправил рапорт на имя Екатерины II, в котором сообщал

о бедственном положении зимовки: *«Претерпеваю в обуви, и в платье, и в съестных припасах великую нужду; да при том по непривычке здешних тяжелых воздушов имею всегдашние цинготные припадки»* [2. С.400]. 13 сентября рапорт Рындина был доставлен в Архангелогородскую контору над портом.

23 сентября 1765 г. Адмиралтейств-коллегия распорядилась вновь отправить пинк «Лапоминк» на Шпицберген и оставить его там на зимовку. Однако 27 октября Архангелогородская контора над портом сообщила коллегии, что пинк получил повреждения во время последнего плавания на архипелаг и по распоряжению Чичагова помощь отряду Рындина отложена до весны 1766 г.

16—18 января 1766 г. на заседании Адмиралтейств-коллегии было принято решение предпринять второе плавание по отысканию пути на восток Северным океаном. Чичагову было предписано руководствоваться в плавании остающейся в силе инструкцией Ломоносова, но при этом проявлять больше самостоятельности в выборе маршрута.

19 мая 1766 г. суда экспедиции «Чичагов», «Панов» и «Баев» вышли из Колы и взяли курс на Шпицберген. 31 мая суда подошли к заливу Клокбей, по счислению корабли находились на 77°28'с.ш., по наблюдению Солнца — на 77°05'с.ш. Лавируя среди льдов в условиях тумана и мороси, 9 июня участники экспедиции увидели несколько промышленных судов, на одно из которых была направлена шлюпка для опроса. 10 июня шкипер Шикиянс с голландского трехмачтового галиота «Корнелиус» из Амстердама сообщил, что он три года занимается промыслом китов возле Шпицбергена, но *«Гренландии никогда не видел за льдами и выше 77° ширины не бывал»* [2. С.411].

11 июня суда экспедиции оказались окружены льдами. В течение нескольких дней ко-

рабли лавировали, *«избирая свободу между льдов»*. 14 июня экспедиция находилась на 78°00'с.ш., 19°29'в.д.

15 июня в полдень на судно «Чичагов» прилетела маленькая птичка, по виду напоминавшая чижика. *«И уповательно, что она отлетела от берега в туман через лед, и может быть, что от Гренландской стороны (потому что на Шпицбергене таких птичек видать мне не случалось). И для того старались далее склоняться к западу и лавировали в видимую нами заливу с намерением, что не случится ли через лед увидеть землю»*, — писал Чичагов [2. С.412]. Прилет маленькой птички принес участникам экспедиции неожиданную надежду на близость Гренландии. Однако счисление показало, что суда находятся на 78°15'с.ш., 18°09'в.д., всего в 36 милях от залива Клокбей. После совещания командиров было принято решение идти к берегу Шпицбергена, чтобы уточнить местоположение судов. 17 июня в полдень экспедиция определила себя на 77°33'с.ш., 27°08'в.д. После нескольких дней плавания в условиях тумана 20 июня суда оказались на 78°03'с.ш. На следующий день было принято решение идти в залив Клокбей, и в полдень 21 июня корабли экспедиции встали на якорь ввиду зимовья.

Так как на выстрел корабельной пушки с берега не последовало никакого ответа, Чичагов направил в зимовье отряд под командованием Бурноволокова. Вернувшись с берега, Бурноволоков сообщил, что Рындин с четырьмя зимовщиками ушел на промысел птиц и что за время зимовки в поселении умерло восемь человек. 24 июня Рындин прибыл на флагманский корабль. В беседе с Чичаговым он сообщил, что *«в минувшую зиму служители по большей части были больны, а особливо которые — не столько имели движения»* [2. С.416]. Во время зимовки участникам экспедиции оказывали помощь промышленни-

ки из Даниловой пустыни, которые жили в 30 верстах от лагеря экспедиции и занимались добычей моржей, песцов, медведей и оленей.

28 июня на флагманский корабль прибыл с визитом шкипер Якоб Тюльниц Ромюнге с голландского судна «Святая Анна». По словам шкипера, он видел берега Гренландии 10 лет назад на широте 75°00'.

1 июля суда экспедиции снялись с якоря и вновь направились на поиски северо-восточного прохода. В условиях сильного встречного ветра и снегопада корабли пытались идти на север. 4 июля экспедиция определила себя на 76°55'с.ш. 7 июля ветер стих и опустился густой туман, из-за плохой видимости суда вынуждены были лечь в дрейф. Лавируя среди льдов в тумане, 16 июля после полуночи участники экспедиции увидели северную оконечность острова Западный Шпицберген. К северу от него было отмечено 14 иностранных судов, которые почти все скрылись из виду, заметив российские корабли. Приблизившись к одному из судов под голландским флагом, Чичагов направил шлюпку для опроса шкипера. Голландец сообщил, что севернее этих широт он не бывал и Гренландии никогда не видел. Суда находились на 79°50'с.ш., 27°34'в.д.

17 июля экспедиция продолжила путь на север и достигла 80°19'с.ш. Температура воздуха упала, такелаж на судах обледенел. В полдень 18 июля корабли определили себя на 80°12'с.ш., впереди лежали непроходимые льды. Чичаговым *«призваны были командиры других судов, и положено по общему согласию, что за непреодолимым к намеченному пути от льдов препятствием возвратиться»*. С 80°00'с.ш. суда экспедиции прекратили поиски северо-восточного прохода и повернули обратно.

19 июля корабли экспедиции встретили шесть иностранных судов, возвращавшихся с кито-

бойного промысла. Опрос промышленников с голландского судна, отрицавших возможность достижения берегов Гренландии и плавания в столь высоких широтах, окончательно убедил Чичагова в необходимости прекратить поиски северо-восточного прохода и завершить экспедицию.

30 июля корабли под командованием Чичагова подошли к заливу Клокбей. Здесь они неожиданно встретились с пинком «Лапоминк» лейтенанта Немтинова, направленного по распоряжению Адмиралтейств-коллегии с запасом продовольствия, снаряжения и дров и смелой личной состава на зимовку.

С 31 июля по 7 августа суда экспедиции пробыли в заливе Клокбей. На борт взяли запас пресной воды и оставшееся продовольствие. Во время стоянки было произведено измерение высоты горы на берегу залива и определение местоположения зимовки.

Оставив на берегу избы, амбар, баню, 30 саженой дров и пришедший в негодность провиант и взяв на борт участников зимовки, корабли направились в обратный путь. 10 сентября суда экспедиции «Чичагов», «Панов» и «Баев» пришли в Архангельск. Пинк «Лапоминк», оставший в пути, прибыл в порт 22 сентября.

15 сентября Чичагов направил в Адмиралтейств-коллегию рапорт с изложением хода плавания 1766 г. В заключение своего отчета он написал: *«И во все время нашего плавания как Гренланду, так и других чаемых, к северу лежащих, земель не усмотрено. И как видимые обстоятельства уверяют, что северной проход за великими льдами невозможен»* [2. С.421].

Рассмотрев 27 сентября рапорт Чичагова, Адмиралтейств-коллегия приняла решение о ликвидации экспедиции. В особом письме Чичагову от 30 сентября 1677 г. вице-президент коллегии Чернышев отмечал признание больших трудов экспедиции во время плавания в полярных водах у берегов Шпицбергена. По представлению Чичагова 134 участника экспедиции, включая штаб-, обер- и унтер-офицеров, рядовых и поморов, получили наградное жалованье.

Несмотря на благополучное завершение экспедиции, среди членов Адмиралтейств-коллегии, по-видимому, высказывались мнения о недостаточной твердости и решительности Чичагова в достижении поставленной перед ним задачи. В связи с этим 31 января 1767 г. Чичагов составил особую записку, получившую название «оправдательной», с которой он выступил на заседании Адмиралтейств-коллегии. В своей записке, подразумевая вероятно, «Краткое описание» и «Инструкцию» Ломоносова, Чичагов указывал, что он имел лишь *«краткое и обстоятельное известие»* о возможности плавания в полярных водах, основанное на *«предрасуждениях»*. Однако, как вспоминал впоследствии сын В.Я.Чичагова, П.В.Чичагов, эта записка несколько не оправдала его отца в глазах членов коллегии [3]. Результаты экспедиции Чичагова остались неизвестными мировой научной общественности, так как Адмиралтейств-коллегия *«стыдилась своей неудачи и считала срамом признаться в сделанной попытке»*.

Формально экспедиция под руководством Чичагова не выполнила своей основной зада-

чи — отыскания морского прохода Северным океаном в Камчатку и далее. Возможности кораблестроения того времени не могли обеспечить выполнение поставленной перед экспедицией Чичагова задачи. Деревянные парусные суда экспедиции длиной 90 и 72 фута (27.34 и 21.95 м соответственно) были бессильны перед льдами Северного Ледовитого океана. Достаточно вспомнить, что два с лишним столетия спустя после плавания Чичагова, в 1899 г., знаменитый ледокол «Ермак» (длина корпуса 97.5 м, мощность двигателя 9 тыс. л.с., скорость 12 узлов) в ходе плавания смог достигнуть к северу от архипелага Шпицберген 81°21' с.ш., лишь на 55' улучшив достижение Чичагова.

До экспедиции Чичагова плавания в высоких широтах Северного Ледовитого океана совершали лишь промышленники, занимавшиеся добычей морского зверя и не ставившие перед собой задачи исследования природной среды Арктики. Экспедиция по отысканию северо-восточного прохода стала первой российской научной экспедицией, направленной на изучение высоких широт.

В ходе подготовки экспедиции был собран огромный исторический материал об архипелаге Шпицберген и русском полярном мореплавании. Во время плаваний 1764—1766 гг. в Гренландском море участниками экспедиции были выполнены метеорологические и ледовые наблюдения, промеры глубин, изучены донные грунты и составлены карты архипелага. Экспедиция подтвердила открытый Ломоносовым закон большого дрейфа в Северном Ледовитом океане — движение льдов с востока на запад. ■

Литература

1. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений. Т.6: Труды по русской истории, общественно-экономическим вопросам и географии, 1747—1765 гг. М.; Л., 1952.
2. Первалов В.А. Ломоносов и Арктика. М.; Л., 1949.
3. Чичагов П.В. Записки адмирала Павла Васильевича Чичагова, первого по времени морского министра / С предисловием, примечаниями и заметками Л.М.Чичагова. М., 2002.

Правила для авторов

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

ся и проходят редакционную подготовку.

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

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

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

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

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

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

Над номером работали

Ответственный секретарь

Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

Л.П.БЕЛЯНОВА

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 08.09.2010
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 686
Набрано и сверстано в редакции

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

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.

