

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

5-96



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геолого-минералогических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УЛЬЯНОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Мозаика с изображением петуха, найденная на территории Римской империи I в. до н.э. См. в номере: **Моисеева И.Г., Лисичкина М.Г.** Происхождение и эволюция домашних кур.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Водорастворимые минералы Хибинско-Ловозёрского комплекса. Сроки натрофосфата (белый) и виллиомита (тёмно-вишневый). См. в номере: **Хомяков А.П.** Почему их больше, чем две тысячи?



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1996

В НОМЕРЕ

3 Оглоблин А.А.

ЭКЗОТИЧЕСКИЕ АТОМНЫЕ ЯДРА

Одна из наиболее актуальных проблем ядерной физики — исследование ядер с очень большим избытком нейтронов. Обсуждаются эксперименты по поиску ядер в области нейтронной границы стабильности и анализу их структуры.

14 Новосельцев В.Н.

ОПТИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ПРОТЯЖЕННЫХ АТМОСФЕРНЫХ СЛЕДОВ

Рассеивание следов в атмосфере, остающихся при пролете различных объектов, сопровождается интересными зрительными иллюзиями. С ними могут быть связаны некоторые случаи наблюдения НЛО.

ЛЕКТОРИЙ

26 Баранов В.С.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИАГНОСТИКА НАСЛЕДСТВЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Использование в диагностике молекулярно-биологических методов позволяет выявлять тяжелые наследственные недуги на самых ранних стадиях эмбрионального развития.

37 Вейзе Д.Л.

ЛИСТОРАСПОЛОЖЕНИЕ И ЧИСЛА ФИБОНАЧЧИ

Ряды листьев и почек на ветках, цветков в соцветиях, чешуек в шишках складываются в спирали, количество которых часто оказывается числом из ряда Фибоначчи. Геометрическое построение помогает понять, что этот факт может быть проявлением принципа минимакса.

48 Левин Б.В.

ЦУНАМИ И МОРЕТЯСЕНИЕ В ОКЕАНЕ

На примере Шикотанского землетрясения 1994 г., породившего катастрофическую волну цунами, рассмотрена природа этого явления, приведены результаты моделирования моретрясений, материалы спутниковой альтиметрии, подтверждающие возможность регистрации цунами из космоса, предложена геофизическая версия разгадки «Летучего голландца».

62 Хомяков А.П.

ПОЧЕМУ ИХ БОЛЬШЕ, ЧЕМ ДВЕ ТЫСЯЧИ?

Уникальные щелочные массивы Хибин и Ловозера сформировались при экстремальных физико-химических условиях. Это практически снимает ограничение на разнообразие минеральных видов.

76 Силкин Б.И.

УРОКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОБЕ

82 Мурина В.В.

ХИЩНЫЙ ПЛОСКИЙ ЧЕРВЬ — ПОЖИРАТЕЛЬ ЧЕРНОМОРСКИХ БАЛЯНУСОВ

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

85 Молодин В.И.

НОВЫЙ КУРГАН С МЕРЗЛОТОЙ НА АЛТАЕ

КРАСНАЯ КНИГА ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

88 Моисеева И.Г., Лисицина М.Г.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ДОМАШНИХ КУР

97 Моисеев Н.Н.

РЫНОК И АНТИ-РЫНОК В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

106 НЕЗАБЫВАЕМЫЙ МИРНЫЙ

40 лет назад была открыта первая советская научная станция в Антарктике — обсерватория Мирный. Радостными и трудными были дни ее первых зимовщиков.

Зотиков И.А. «ВСПОМНИ, ТОВАРИЩ...» (106)

Кричак О.Г. ИЗ АНТАРКТИЧЕСКИХ ЗАПИСОК (111)

125 СТАНЕТ ЛИ НАУКА ЭКЗОТИКОЙ?

Беседа М.Я.Азбеля и М.И.Каганова о судьбах науки

137 НОВОСТИ НАУКИ (25, 75)

154 КОРОТКО (36)

РЕЦЕНЗИИ

155 Николаев Г.Ф.

СЧАСТЛИВЫЙ ЯКОВ ИЛЬИЧ РЕЗОНАНС

159 Динеев В.Л.

ПАРК ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

IN THIS ISSUE

3 Ogioblin A.A. EXOTIC ATOMIC NUCLEI

One of the most important problems of nuclear physics is the investigation of nuclei with a very large excess of neutrons. The author discusses experiments aimed at finding nuclei near the neutron drip-line and analyzing their structure.

14 Novoseltsev V.N. OPTICAL ILLUSIONS ASSOCIATED WITH LENGTHY ATMOSPHERIC TRACES

The diffusion of traces left by a flying object in the atmosphere is accompanied by interesting visual illusions, possibly related to certain UFO sightings.

LECTURES

26 Baranov V.S. MOLECULAR DIAGNOSTICS OF HEREDITARY DISEASES

Molecular-biological diagnostic methods can be used to identify severe hereditary illnesses in the earliest stages of embryonic development.

37 Velze D.L. LEAF PATTERN AND FIBONACCI NUMBERS

Leaves and buds on branches, flowers in racemes, and scales in cones constitute spirals whose quantity frequently follows the Fibonacci sequence. Some geometrical construction reveals that this may be an expression of the minimax principle.

48 Levin B.V. TSUNAMI AND SEAQUAKE IN THE OCEAN

The author examines the origin of tsunamis with reference to the catastrophic seismic sea wave generated by the Shikotan Island earthquake (1994). The article includes the results of seaquake modeling, presents satellite altimeter data which confirm that tsunamis can be detected from outer space, and proposes a geophysical explanation of the Flying Dutchman.

62 Khomyakov A.P. WHY THEY ARE MORE THAN TWO THOUSANDS?

The unique alkaline massifs of Khibina and Lovozero were formed under extreme physico-chemical conditions which remove limitations on the diversity of mineral species.

76 Silkin B.I. LESSONS FROM THE KOBE EARTHQUAKE

82 Murina V.V. PREDACEOUS FLATWORM, EATER OF BLACK SEA BARNACLES

NEWS FROM EXPEDITIONS

85 Molodin V.I. A NEW FROST MOUND IN THE ALTAI MOUNTAINS

RED DATA BOOK OF DOMESTIC ANIMALS

88 Molosova I.G. and Lisichkina M.G. THE ORIGIN AND EVOLUTION OF DOMESTIC HENS

97 Molisev N.N. THE MARKET AND ANTIMARKET IN NATURE AND SOCIETY

106 UNFORGETTABLE MIRNYI *It is forty years since the opening of the Mirny Observatory, the first Soviet scientific station in the Antarctic. The first winterers spent many unforgettable days there which were difficult and at the same time joyful.*

Zotikov I.A. REMEMBER THOSE DAYS (106)

Krichak O.G. NOTES FROM THE ANTARCTIC (111)

125 WILL SCIENCE BECOME A RARITY? M.Ya. Azbel and M.I. Kaganov discuss the destiny of science

137 SCIENCE NEWS (25, 75)

154 IN BRIEF (36)

BOOK REVIEWS

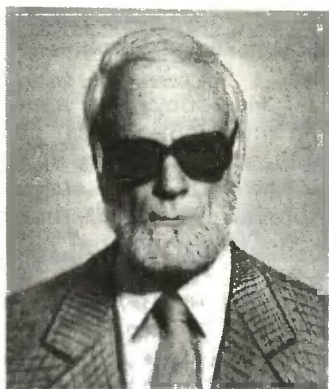
155 Nikolaev G.F. HAPPY YAKOV ILYICH

RESPONSE

159 Dinets V.L. QUATERNARY PARK

Экзотические атомные ядра

А. А. Оглоблин



Алексей Алексеевич Оглоблин, доктор физико-математических наук, профессор, начальник отдела ядерных взаимодействий РНЦ «Курчатовский институт». Автор свыше 150 работ в области физики ядра. За открытие ядер ^{13}Be и ^{10}He присуждена премия им. академика Г.Н.Флерова (1995).

НЕСКОЛЬКО лет назад в научной литературе появилось выражение, вынесенное в заголовок настоящей статьи. Оно относится к некоторым легким ядрам с большим избытком нейтронов, у которых были обнаружены свойства, делающие их во многом не похожими на обычные ядра. Их открытие придало новый импульс работам, направленным на выяснение того, что же происходит на краю ядерного мира — вблизи так называемых границ нуклонной стабильности.

НЕЙТРОННАЯ ГРАНИЦА СТАБИЛЬНОСТИ

Хорошо известно, что атомные ядра состоят из нейтронов и протонов, но их соотношение не может быть произвольным. У стабильных ядер это отношение (N/Z) меняется от 1 — в начале периодической системы до 1.6 — в конце. Отклонение значения данного параметра от оптимального понижает устойчивость ядер. Вначале они становятся β -радиоактивными (испускают электрон или позитрон, чтобы вернуться к более выгодному отношению N/Z). При дальнейшем росте или убывании указанного отношения энергия связи нуклонов в ядрах продолжает уменьшаться, и, когда она достигнет нуля, происходит самопроизвольный вылет нейтронов или протонов. Кривые на плоскости $N-Z$, отвечающие нулевой энергии связи нуклона в ядрах, называют границами стабильности. Сплошные линии (рис.1) соответствуют предсказываемым современной теорией границам стабильности — нейтронной и протонной.

Поведение ядер с «лишними»

протонами понятно: возрастание кулоновских сил отталкивания в конце концов разрушает ядро. Поэтому существование протонной границы стабильности не вызывает сомнений. Как показывают (хотя и немногочисленные) случаи наблюдения протонных распадов, теория хорошо согласуется с экспериментом, и никаких неожиданностей не происходит.

Сложнее обстоит дело с ядрами, имеющими большой избыток нейтронов. В отличие от протонов между нейтронами действуют только силы притяжения, что, казалось бы, делает возможным даже образование связанной системы из одних нейтронов. Однако, согласно принципу Паули, нейтроны могут занимать не все возможные, а лишь некоторые состояния. По этой причине притяжение между нейтронами оказывается слабее, чем между протоном и нейтроном. В результате, как показывают расчеты, уже при отношении $N/Z=2.3 \div 2.5$ энергия связи S_n нейтрона в ядрах обращается в нуль. Из рис.1 следует, что предсказанная нейтронная граница стабильности находится очень далеко от области известных ядер: например, чтобы дойти до лежащего на ней ^{302}U нужно открыть примерно 60 новых изотопов. Только для самых легких ядер нейтронная граница стабильности реально достижима.

Следует, однако, помнить, что предсказания, о которых шла речь, опираются на известные нам свойства ядер с сравнительно небольшим нейтронным избытком и являются сильной экстраполяцией в область больших значений N/Z . Они не учитывают того обстоятельства, что структура ядер с большим избытком нейтронов может сильно отличаться от структуры обычных ядер. В результате граница стабильности, возможно, окажется не там, где ожидается, а при существенно больших величинах N/Z . В некоторых работах обсуждались вероятность появления островков ядер с аномально большими N/Z за границей стабильности и даже вопрос о существовании ядер, состоящих из одних нейтронов.

Одна из популярных аналогий (разумеется, ничего не доказывающая) выглядит следующим образом: молекулы гелия нет, однако капля жидкого гелия существует; стабильного dineйтрона также нет (доказано экспериментально), но, чтобы его связать, потенциал $n-n$ -взаимодействия надо углубить очень ненамного, а это в принципе может осуществиться в коллективе нескольких нейтронов за счет корреляций.

Не обсуждая далее теоретическую сторону вопроса, следует подчеркнуть, что проблема нейтронной границы стабильности является в первую очередь экспериментальной. Именно эксперимент должен дать ответ на два основных вопроса: при каких N/Z проходит нейтронная граница стабильности и имеются ли существенные различия между ядрами в районе границы стабильности и обычными ядрами?

НЕЙТРОННОЕ ГАЛО

Экспериментальное определение нейтронной границы стабильности — очень трудная задача. Ниже мы еще к ней вернемся. Острый интерес к рассматриваемой проблеме возник после 1985 г., когда стало ясно, что, исходя из полученных данных, на второй вопрос, поставленный в предыдущем разделе, следует дать положительный ответ. Речь идет об открытии гигантского нейтронного гало¹. Суть явления состоит в следующем.

Хорошо известно, что плотность нуклонов примерно постоянна внутри ядер, а на поверхности сравнительно быстро спадает до нуля. При этом пространственные распределения протонов и нейтронов в ядрах одинаковы. Даже если нейтронов намного больше (как, например, в ядрах урана), они занимают тот же объем, что и протоны, и какая-либо нейтронная оболочка («кожа») практически отсутст-

¹ Tanihata I. et al. // Phys. Rev. Lett. 1985. V.55. P.2676.

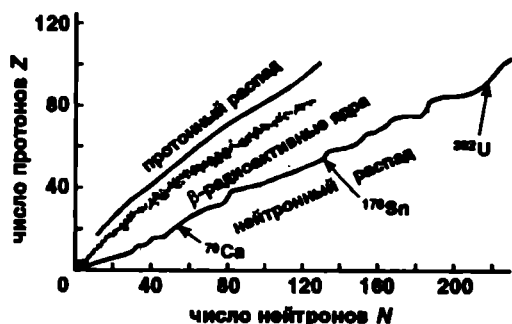


Рис.1. Протонно-нейтронная диаграмма атомных ядер. Z — число протонов, N — число нейтронов; точки изображают известные стабильные ядра. Сплошными линиями показаны предсказанные протонная и нейтронная границы стабильности. Левее и правее их — ядра, которые должны быть неустойчивы относительно распада с вылетом протона или нейтрона соответственно.

вует. Такая структура ядер — следствие достаточно общих свойств ядерных сил, и до недавнего времени отклонений от нее не отмечалось.

Эксперименты Танихаты показали, что некоторые легкие ядра устроены по-другому: у них есть сердцевина с нормальными ядерной плотностью и радиусом и большая диффузная зона, занимаемая только нейтронами. Наиболее ярким представителем таких двухкомпонентных ядер, за которыми прочно закрепилось название «экзотических», является ${}^{11}\text{Li}$. У него имеются «нормальный» остов ${}^9\text{Li}$ и два нейтрона, образующие разреженное гало, объем которого в несколько раз превышает объем остова (рис.2).

Возникает естественный вопрос: какова физическая причина появления столь необычной ядерной структуры? Точнее его формулировка выглядит так: почему у экзотических ядер «валентные» нейтроны не разрушают сердцевину?

На сегодня известны две причины, приводящие к появлению гало. Первая из них — аномально малая энергия связи внешних нейтронов. У стабильных ядер энергия отрыва нейтрона составляет ~ 8 МэВ. По мере увеличения нейтронного избытка она

падает, но почти всегда остается не менее нескольких мегаэлектрон-вольт. Поэтому квантовомеханический эффект, позволяющий нейтрону находиться за пределами ядра (характеристическое расстояние зависит от энергии связи ϵ как $1/\sqrt{\epsilon}$), сравнительно невелик и мало меняется от ядра к ядру.

Другое дело ${}^{11}\text{Li}$. Энергия связи пары нейтронов составляет лишь 300 кэВ, что позволяет им находиться значительную часть времени далеко за пределами действия потенциала ${}^9\text{Li}$. Этим объясняются и аномально большой радиус ${}^{11}\text{Li}$, и слабое влияние валентных нейтронов на остов ${}^9\text{Li}$.

Помимо ${}^{11}\text{Li}$ необычно большие размеры и некоторые другие особенности, характерные для ядер с гало, были обнаружены у ${}^{11,14}\text{Be}$ и ${}^{17}\text{B}$. Следует заметить, что очень малые энергии связи нейтронов вообще должны быть типичны для ядер, лежащих на границе стабильности. Поэтому можно ожидать, что нейтронное гало является достаточно общим свойством таких ядер.

Существует и другой тип нейтронного гало, который иногда называют «толстой нейтронной кожей». Оно наблюдается у ядер ${}^{6,8}\text{He}$. В этом случае общие размеры ядра почти не отличаются от обычных, но сам остов (в данном случае α -частица) имеет аномально малый радиус. Валентные нейтроны, хотя и не удаляются очень далеко от остова, не в состоянии разрушить последний вследствие его высокой прочности (напомним, что энергия отрыва нуклона от α -частицы примерно равна 20 МэВ, т.е. намного больше, чем в любом другом ядре).

Исключительный интерес к ядрам, имеющим гало, возник сразу после его открытия. Впервые были обнаружены объекты, в которых некоторая часть нейтронов оказалась отделенной от протонов. Образно говоря, гало — кусочек нейтронного вещества, удерживаемого внешним ядерным полем. Не располагая средствами для синтеза нейтронных ядер в свободном состоянии (которых, может быть, и не существует), физики получили принци-

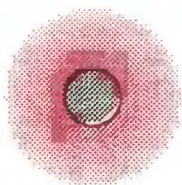
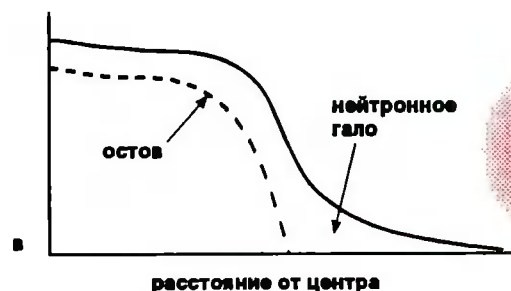
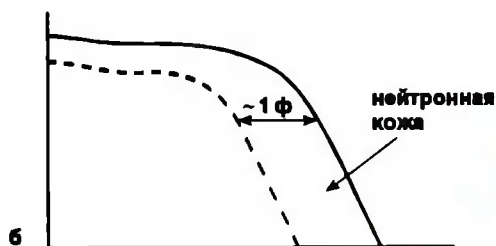
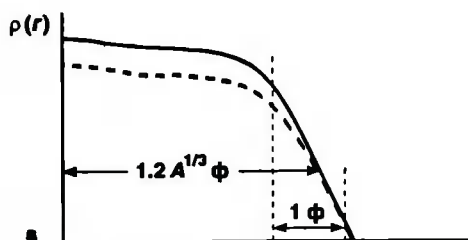


Рис. 2. Распределения протонов и нейтронов в ядрах. В стабильных ядрах протоны (штриховая линия) и нейтроны (сплошная линия) занимают одинаковый объем (а). У ядер вблизи нейтронной границы стабильности возникает поверхностная область, заполненная только нейтронами, — так называемая нейтронная кожа (б) или нейтронное гало (в).

пиальную возможность исследовать как свойства самого коллектива нейтронов, так и его взаимодействия с обычными ядерными системами.

Следует отметить, что идея нейтронного гало по существу была сформулирована еще в конце 50-х годов советским ученым А.И.Базем², развившим теорию так называемых пороговых состояний. Он предсказал, что в спектрах легких ядер вблизи порога отделения нейтрона могут реализовываться состояния с аномально большими размерами, в которых нейтрон будет находиться преимущественно вне ядра. В то время не

существовало путей выхода на границу стабильности и никто не предполагал, что пороговыми могут быть основные состояния ядер.

РАДИОАКТИВНЫЕ ПУЧКИ

Танихата наблюдал нейтронное гало в очень простом по замыслу эксперименте: измерялись полные сечения взаимодействия налетающих ядер с мишенью. При используемых энергиях эти сечения должны быть геометрическими, т.е. равными сумме $\pi(R_p + R_t)^2$, где R_p и R_t — радиусы налетающего ядра и ядра-мишени. Поскольку последний известен, измерение сечения позволяет определить радиус налетающего ядра.

Открытие состоялось благодаря

² Базь А.И. Некоторые вопросы теории легких ядер // Ядерные реакции при малых и средних энергиях. М., 1962.

тому, что в качестве таких ядер использовались не только стабильные (как в обычных экспериментах), но и радиоактивные ядра, включая ${}^{11}\text{Li}$ и т.п.

Обнаружение гало продемонстрировало новые возможности ядерной физики, заключающиеся в использовании пучков радиоактивных ядер, и стимулировало разработку методов их получения. За короткий срок большинство ведущих лабораторий мира, располагающих ускорителями тяжелых ионов, включилось в эти работы. Есть все основания полагать, что радиоактивные пучки произведут в экспериментальной физике ядра такую же революцию, какую в свое время вызвали тяжелые ионы.

Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, применение радиоактивных пучков в огромное число раз позволит расширить число комбинаций сталкивающихся ядер: стабильных нуклидов насчитывается около 300, а радиоактивных — свыше 1500 и еще несколько тысяч предсказано. Во-вторых, и сегодня это главное, у радиоактивных ядер диапазон изменения отношения N/Z значительно шире, чем у стабильных. Поэтому с помощью радиоактивных пучков намного легче синтезировать и изучать ядра с большим нейтронным или протонным избытком. В частности, пучки радиоактивных ядер с максимально возможным отношением N/Z считаются сейчас практически единственным средством проведения исследований в области нейтронной границы стабильности.

В настоящее время используются три основных метода получения радиоактивных пучков. Первый состоит в том, что радиоактивные ядра вводятся в ионный источник ускорителя так же, как и стабильные, т.е. в виде газа или распыляемого твердого образца. Преимущество данного метода в том, что получаемый таким способом радиоактивный пучок имеет параметры, близкие к обычному пучку, в частности высокую интенсивность. Кроме того, постановка самого эксперимента не требует каких-либо принципиальных

изменений по сравнению с традиционной. Серьезное ограничение метода связано с возможностью использовать лишь долгоживущие ядра, а также с необходимостью преодолевать трудности, вызванные радиоактивным загрязнением ускорителя. На практике таким способом был получен лишь пучок ядер ${}^{14}\text{C}$ в совместных работах Института Гана—Мейтнер (Берлин) и Курчатовского института (Москва).

Второй метод предполагает использование системы из двух ускорителей. В одном из них пучок бомбардирует мишень, в которой в результате ядерных реакций возникают радиоактивные ядра. Оттуда они диффундируют и после предварительного ускорения и сепарации вводятся в основной ускоритель. Ясно, что пучок вторичных ядер значительно уступает по интенсивности первичному. По сравнению с первым методом проигрыш по этому параметру может составить три порядка. Зато таким способом удастся получить разнообразные пучки нестабильных ядер с временами жизни до 1 с. В настоящее время небольшая установка такого типа работает в Лувене (Бельгия). Существует несколько проектов более мощных ускорительных систем. Ожидается, что этот метод окажется высокоэффективным для получения ядер, не сильно отличающихся от стабильных по величине отношения N/Z . Главный недостаток метода состоит в том, что он непригоден для производства пучков ядер с очень короткими временами жизни (порядка миллисекунд), а именно они представляют наибольший интерес для исследований в области границ стабильности.

В настоящее время наиболее широко распространен третий метод, в котором для получения радиоактивных ядер используется реакция фрагментации тяжелых ионов. В качестве примера рассмотрим, как формируются пучки радиоактивных ядер в институте RIKEN (Токио), являющиеся на сегодняшний день рекордными по интенсивности.

Ускоренные на циклотроне ионы

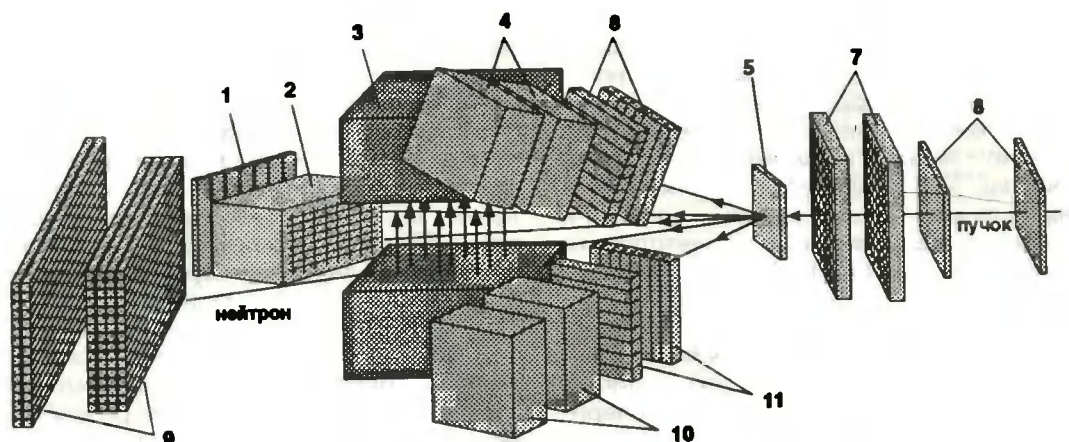


Рис.3. Схема установки для исследования ядер с большим избытком нейтронов, созданная специалистами Курчатовского института (Москва) и института RIKEN (Токио), с помощью которой было, в частности, открыто ядро ^{10}He . 1 — гонимоскоп; 2 — дрейфовая камера; 3 — дипольный магнит; 4, 10 — кремниевые детекторы; 5 — мишень; 6, 11 — кремниевые позиционно-чувствительные детекторы; 7 — многопроволочные пропорциональные камеры; 8 — сцинтилляционные счетчики; 9 — стенки нейтронных детекторов.

^{18}O с энергией 100 МэВ/нуклон падают на бериллиевую мишень и расщепляются на несколько фрагментов, включающих ^8He , ^{11}Li и др. Кинематика процесса такова, что продукты фрагментации летят вперед в довольно узком конусе. С помощью магнитного сепаратора отбираются требуемые ядра, а система магнитных линз формирует из них пучок, который и используется в эксперименте. Ясно, что даже самые короткоживущие радиоактивные ядра успевают долететь до мишени, не распавшись.

Проблема, однако, состоит в том, что работать с таким пучком обычными методами, применяемыми при изучении ядерных реакций, невозможно: интенсивность пучка крайне мала (10^3 – 10^6 по сравнению с 10^{11} – 10^{14} частица/с у обычных пучков), а угловой и энергетический разбросы, напротив, очень велики. Поэтому идеологию традиционного ядерного экспери-

мента пришлось полностью изменить. Главное отличие состоит в том, что измеряются параметры отдельных актов взаимодействия. У каждой частицы пучка, вызвавшей ядерную реакцию, определяют траекторию и энергию. С этой целью соответствующие детекторы вводятся прямо в пучок (недостаток низкой интенсивности обращается в достоинство — детекторы не разрушаются), причем стараются зарегистрировать все продукты реакции, создавая условия так называемой 4π -геометрии.

Одна из самых совершенных установок такого рода была создана Курчатовским институтом и институтом RIKEN (рис.3) для исследований в области нейтронной границы стабильности. На ней было, в частности, открыто ядро ^{10}He , о чем пойдет речь в следующем разделе. С подобными системами работают в США (Мичиганский университет); Германии (Институт тяжелых ионов — GSI, Дармштадт) и Франции (GANIL, Кан).

ОТКРЫТИЕ ^{10}He

Вернемся теперь к вопросу о положении нейтронной границы стабильности. Напомним, что с помощью современных экспериментальных методов можно надеяться ее достичь только в области самых легких ядер. Из соответствующего фрагмента диаграммы N – Z (рис. 4) следует, что

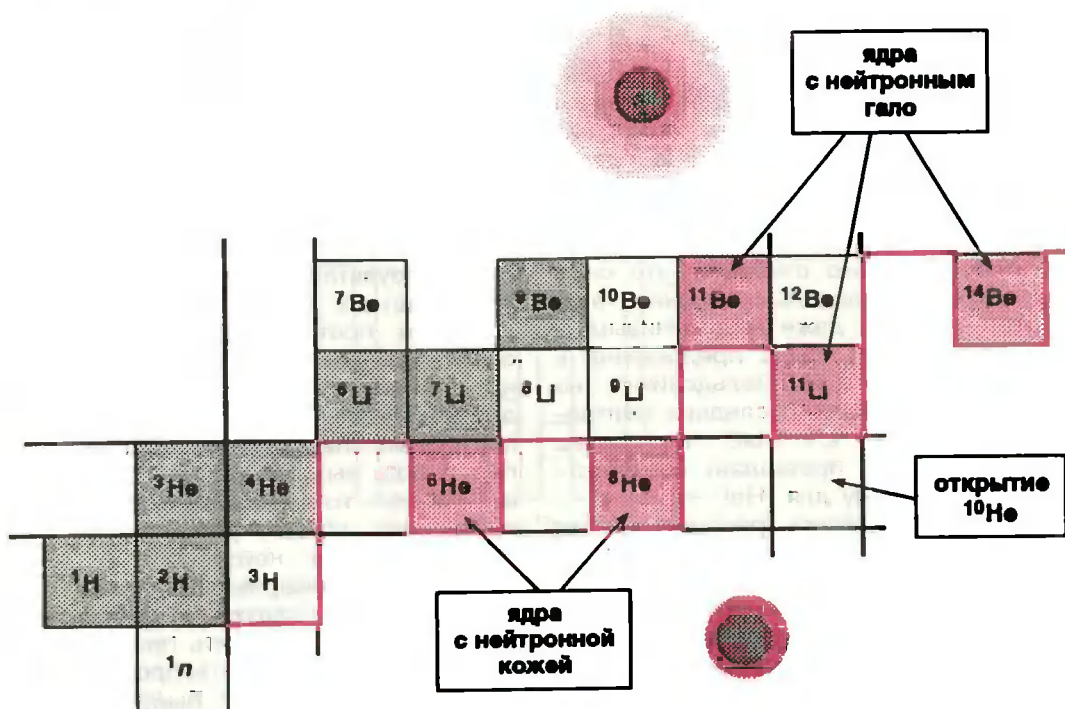


Рис. 4. Фрагмент протонно-нейтронной диаграммы (см. рис. 1) в области самых легких ядер. Каждое известное ядро занимает в ней клетку. Цветной линией обозначена нейтронная граница стабильности. Показаны ядра с нейтронной кожей и нейтронным гало, а также недавно открытое нестабильное ядро ^{10}He , распадающееся на ^6He и два нейтрона. Положение ядра ^{10}He на диаграмме указывает на то, что его структура позволяет соединять в себе особенности как ядер с гало, так и ядер с нейтронной кожей.

ем нейтрона. Наблюдение нестабильных ядер особенно важно для выяснения вопроса о границе устойчивости. Очевидно, что пока они не обнаружены, нельзя говорить о достижении границы. Однако экспериментальные трудности синтеза таких ядер столь велики, что за всю историю ядерной физики их было найдено менее 10. Последние ядра, существование которых надежно установлено с помощью традиционных средств в середине 80-х годов, — ^{13}Be (Курчатовский институт) и ^9He (Лос-Аламосская национальная лаборатория).

Ключом к пониманию многих явлений, возникающих в районе границы стабильности, стало бы выяснение вопроса, существует ли ^{10}He . Прежде всего это связано с гелиевой аномалией. Как упоминалось выше, весь опыт ядерной физики показывает, что по мере роста нейтронного избытка устойчивость ядер понижается. Однако тяжелые изотопы гелия обнаруживают обратный эффект. Если к стабильному ^4He добавить два нейтрона, то в соответствии с ожиданиями формиру-

несколько ядер, стабильных относительно спонтанного вылета нейтрона, характеризуются отношением N/Z , заметно превышающим теоретическое значение $2.3+2.5$. «Чемпионом» здесь является ^8He , у которого $N/Z=3$.

Кроме того, обнаружено несколько ядер, распадающихся с испускани-

ется радиоактивное ядро ${}^8\text{He}$, у которого энергия отрыва этой нейтронной пары довольно мала — около 1 МэВ. Если добавить еще два нейтрона, то получим ${}^8\text{He}$. «По правилам», энергия связи этой второй пары должна быть значительно меньше.

Эксперименты 60-х годов показали: ${}^8\text{He}$ не только стабилен, что само по себе нетривиально (ранее этот изотоп считался даже неустойчивым, а его стабильность была предсказана в известной работе Я.Б.Зельдовича³), но энергия связи двух последних нейтронов составляет 2.1 МэВ, т.е. более чем в два раза превышает соответствующую величину для ${}^8\text{He}$!

Если мы теперь рассмотрим цепочку нечетных изотопов гелия, то также получится неожиданный результат. Хотя все эти изотопы нестабильны (нечетные ядра всегда менее устойчивы, чем четные, поскольку в последних действуют дополнительные силы притяжения), энергия распада ${}^9\text{He}$ такая же, как у ${}^5\text{He}$, а у ${}^7\text{He}$ — значительно меньше.

Когда эти результаты были осознаны, появились гипотезы о том, что очень большой нейтронный избыток каким-то образом приводит к дополнительной устойчивости ядер. И сразу же после открытия ${}^8\text{He}$ встал вопрос: а что можно сказать о ${}^{10}\text{He}$? Если экстраполировать наметившуюся тенденцию, то можно было бы ожидать, что этот изотоп окажется стабильным относительно нейтронного распада.

Многочисленные попытки в 60—70-х годах обнаружить ${}^{10}\text{He}$ не привели к успеху. Все сделанные работы были малодоказательными. Необходимо было поставить эксперимент, который позволил бы однозначно решить, существует ли ${}^{10}\text{He}$ вообще, и если это так, то измерить его массу. Величина последней определяет энергию связи ядра или энергию распада, если оно неустойчиво.

Такой эксперимент был предложен А.А.Коршенинниковым (РНЦ «Кур-

чатовский институт») и автором этих строк и поставлен сотрудниками упомянутого института совместно с группой Танихаты на ускорителе института RIKEN (см. рис.3).

Пучком ядер ${}^{11}\text{Li}$ бомбардировали мишень из дейтерированного полиэтилена (CD_2). ${}^{10}\text{He}$ мог в ней рождаться как в результате расщепления ${}^{11}\text{Li}$, так и вследствие очень простой реакции передачи протона ядру дейтерия. В обоих случаях все образовавшиеся ядра ${}^{10}\text{He}$ и продукты их распада должны лететь вперед в узком конусе. Магнитный спектрометр измерял энергию и углы вылета заряженных частиц, а стенка из нескольких десятков нейтронных детекторов — те же параметры для нейтронов. В итоге измерялась инвариантная масса в системе ${}^8\text{He}$ и двух нейтронов, т.е. стало возможно получить прямой ответ на поставленный выше вопрос.

В эксперименте было набрано около 200 событий, которые однозначно соответствовали образованию ${}^{10}\text{He}$. Было показано, что это ядро нестабильно и распадается на ${}^8\text{He}$ и два нейтрона с энергией ~ 1 МэВ.

Спустя некоторое время этот результат был подтвержден в независимом эксперименте немецких ученых Г.Г.Болена и В. фон Эртцена (Институт Гана—Мейтнер), в котором использовались радиоактивные пучок (${}^{14}\text{C}$) и мишень (${}^{10}\text{Be}$).

Таким образом, было синтезировано ядро, у которого самое большое отношение N/Z из известных на сегодняшний день: два протона удерживают, хотя и на короткое время, восемь нейтронов. Интересно то, что согласно некоторым представлениям, именно такое соотношение характерно для нейтронных звезд. «Чуда» не произошло — ${}^{10}\text{He}$ оказался за границей стабильности. Теперь с уверенностью можно сказать, что она существует в области самых легких ядер (особая устойчивость ${}^{10}\text{He}$ ожидалась не только исходя из гелиевой аномалии, но и вследствие того, что у этого изотопа должно происходить заполнение обеих оболочек — протонной и нейтронной).

³ Зельдович Я.Б. // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1960. Т.38. С.708.

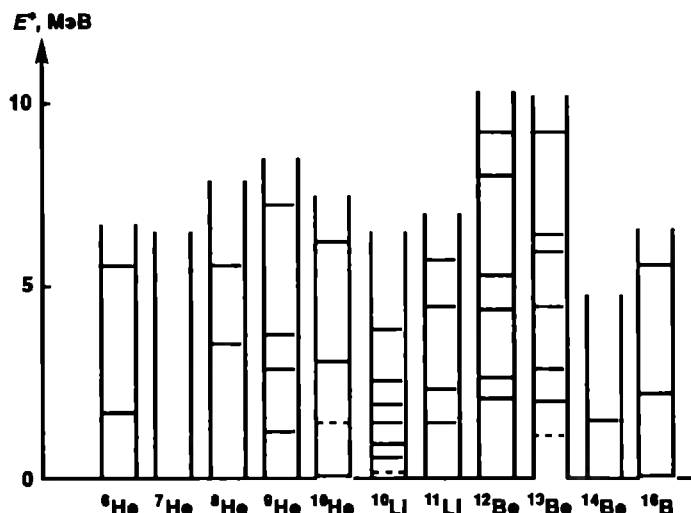


Рис.5. Схемы энергетических уровней ядер в области нейтронной границы стабильности. Черные горизонтальные линии обозначают уровни, известные к началу 1993 г., цветные — открытые к середине 1995 г.; E^* — энергия возбуждения. Получение новых данных связано главным образом с использованием радиоактивных пучков.

Конечно, надежды на существование чисто нейтронной материи поубавились. Тем не менее оказалось, что ^{10}He обладает очень интересными свойствами, и самое удивительное из них — неожиданно большое время жизни (разумеется, по ядерным меркам). Объяснение следует искать в особенностях структуры этого и других экзотических ядер.

СТРУКТУРА ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР

Основные сведения о структуре, т.е. внутреннем строении атомных ядер, получают путем изучения спектров их уровней энергии. Как всякая квантовая система ядро обладает целым набором возбужденных состояний (их совокупность и называется спектром), положение и квантовые числа которых отражают все особенности внутриядерного движения. До самого последнего времени у ядер, расположенных вблизи нейтронной границы стабильности, было известно очень мало уровней. О прогрессе, достигнутом за последние три года, можно судить по рис.5, демонстрирующему уровни, открытые за этот период. Заметим, что их подавляющее большинство было обнаружено с помощью пучка радиоактивных ядер ^{14}C в совместных работах Объединенного института ядерных исследований

(Дубна), институтов Гана—Мейтнер и Курчатовского.

За три года по существу возникла новая область ядерной спектроскопии. Ведутся интенсивные теоретические исследования по анализу полученных результатов. Основная работа еще впереди, но уже сейчас установлены некоторые важные систематики и можно сделать ряд выводов.

Как было отмечено, особый интерес к ядрам с нейтронным гало возник в связи с тем, что они представляют собой двухкомпонентные системы, состоящие из остова и окружающего его нейтронного облака. В первом приближении можно ожидать существование у такого ядра трех основных типов возбуждений: нейтронов в гало; самого остова, а также возбуждений, связанных с взаимодействием гало и остова. Конечно, такая классификация достаточно условна и может не выдержать будущего количественного рассмотрения, но все же является некоторым ориентиром для понимания происходящего.

Более или менее очевидно, что самые слабые возбуждения (т.е. уровни с наименьшей энергией) связаны с движением нейтронов. Оказалось, у экзотических ядер оно нередко происходит по-другому, нежели в обычных. Это проявилось, например, в том, что порядок заполнения нейтронных орбит

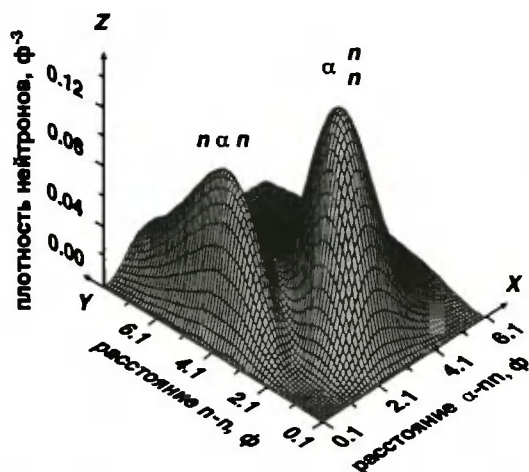


Рис.6. Пространственное распределение нейтронов в поверхностном слое (коже) ядра ${}^6\text{He}$, которое можно представить как остов ${}^4\text{He}$ плюс два нейтрона. По оси Z отложена плотность нейтронов, X — расстояние между ${}^4\text{He}$ (α -частицей) и центром тяжести двух нейтронов, Y — расстояние между двумя нейтронами. Как можно видеть, в ядре ${}^6\text{He}$ преобладают две конфигурации: «сигара» — нейтроны расположены по обеим сторонам от α -частицы и «динейтрон» — оба нейтрона находятся рядом и относительно далеко от α -частицы. (Zhuikov M.V. et al. // Nuclear Physics. 1991. A533.)

оказался отличным от ожидаемого. Другим важным фактом явилось наблюдение скоррелированных нейтронных группировок в составе гало. Так, у ${}^6\text{He}$ реализуются две нейтронные конфигурации (рис.6): нейтроны либо располагаются по обе стороны остова (ядра ${}^4\text{He}$), либо образуют своего рода динейтрон. Конечно, особый интерес представляют корреляции четырех нейтронов в ${}^8\text{He}$ и, в частности, вопрос, не образуется ли там тетранейтрон. Для ответа на него необходимы дальнейшие исследования.

Что касается возбуждения остова ядра, то наиболее значительным оказался вопрос о том, что происходит с двухкомпонентным ядром по мере роста числа нейтронов в гало. Характер изменений удалось проследить на примере изотопов гелия от ${}^5\text{He}$ до ${}^{10}\text{He}$.

Начиная с ${}^5\text{He}$ и вплоть до ${}^8\text{He}$

валентные нейтроны не разрушают α -частичный остов. Картина резко меняется у ${}^9\text{He}$. Спектр его возбужденных состояний удастся объяснить только в предположении, что α -частица разрушилась или по крайней мере сильно деформировалась, сохраняя мало общего с нормальным ядром ${}^4\text{He}$. Совместного воздействия пяти валентных нейтронов оказывается достаточно, чтобы сильно исказить самое устойчивое из известных ядер — ${}^4\text{He}$. Об этом же говорит и характер спектра следующего ядра — ${}^{10}\text{He}$.

Таким образом, структура ${}^{10}\text{He}$ сильно отличается от той, которая характерна для ${}^8\text{He}$: вместо двухкомпонентной системы остов — гало ${}^{10}\text{He}$ представляет собой «нейтронный суп», в котором плавают два протона (рис.7). Распад ${}^{10}\text{He}$ на ${}^8\text{He}$ и пару нейтронов неизбежно сопровождается глубокой перестройкой материнского ядра: протоны, первоначально размазанные по всему объему, должны собраться в значительно меньшем по размеру остова. Это обстоятельство может служить причиной неожиданно большого времени жизни ${}^{10}\text{He}$.

Обсудим, наконец, вопрос о взаимодействии гало и остова. Традиционная ядерная физика не имела дела с подобными возбуждениями. Теоретический анализ проблемы привел к предсказанию у ядер с гало неизвестных ранее типов коллективных движений — мягких гигантских резонансов. В качестве примера рассмотрим хорошо известный дипольный резонанс. В обычных условиях ему соответствуют колебания всех протонов относительно всех нейтронов. Энергия таких колебаний довольно высока — $15\div 20$ МэВ. У экзотических ядер возможна помимо этой и другая колебательная мода — остов как целое совершает медленные колебания внутри гало. Соответствующий резонанс ожидается при довольно низких энергиях возбуждения — порядка нескольких мегаэлектрон-вольт.

Полученные данные не дают однозначного ответа на вопрос, действительно ли такие мягкие колебания наблюдались на опыте. Их поиск

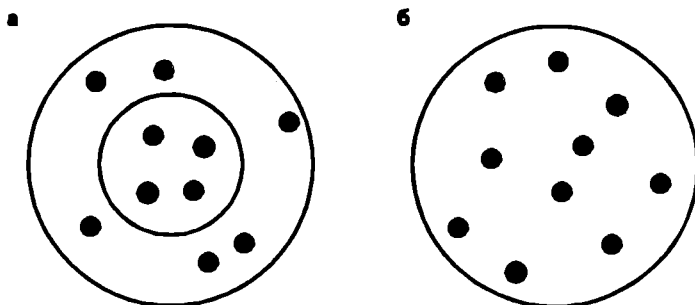


Рис. 7. Два возможных предельных варианта структуры ядра ^{10}He : а — сохраняется α -частичный остов (как в ^4He), а шесть валентных нейтронов образуют нейтронное гало; б — восемь нейтронов и два протона распределены более или менее равномерно по всему объему ядра (протоны в «нейтронном супе»). Экспериментальные данные свидетельствуют скорее в пользу второго варианта.

интенсивно продолжается, так как проблема поведения хорошо сформированного ядра в диффузной нейтронной среде характерна для рассматриваемой области ядер.

Открытие экзотических ядер явилось, вероятно, самым крупным достижением физики ядра за последнее время. Темп исследований нарастает, и ежегодно собирается по несколько международных конференций, посвященных обсуждению работ по этой проблеме. Имеются все основания считать, что изучение экзотических ядер останется одной из самых актуальных задач на долгие годы. Особые надежды связываются с созданием нового поколения ускорителей, способных значительно повысить

интенсивность радиоактивных пучков и разнообразить их применение. Наиболее амбициозной является ускорительная система, проектируемая сейчас в Японии. Она будет состоять из двух циклотронов — 12-метрового, работающего в институте RIKEN, и нового сверхпроводящего, — а также двух накопительных колец. Интенсивность радиоактивных пучков превысит существующую на несколько порядков. Помимо экспериментов того типа, о которых речь шла выше, можно будет работать со встречными и догоняющими друг друга пучками и изучать столкновения электронов с радиоактивными ядрами. Такой набор возможностей отвечает самым смелым мечтам.

Оптические иллюзии при наблюдении протяженных атмосферных следов

В. Н. Новосельцев



Василий Николаевич Новосельцев, доктор технических наук, профессор, заведующий сектором Института проблем управления РАН, член Академии космонавтики им. К.Э. Циолковского (по отделению экстремальной физиологии). Область научных интересов — анализ и математическое моделирование процессов управления в организме, в частности, нарушения процессов обработки информации мозгом человека, попавшего в экстремальные условия.

ИЛЛЮЗИЕЙ называется искаженное восприятие человеком явлений внешнего окружения, которые существуют в момент восприятия и воздействуют на его соответствующие рецепторы. Наиболее известны оптические иллюзии — самый изученный вид иллюзорного восприятия¹. Ниже речь пойдет об оптических иллюзиях, возникающих при наблюдении объектов одного класса в атмосфере Земли.

Эти объекты — материальные «траекторные следы», оставляемые различными предметами, которые перемещаются в атмосфере (и, возможно, в ближнем космосе). Такие следы создаются метеоритами и мелкими частицами, вторгающимися в атмосферу из космоса (газо-пылевые или газовые ионизированные метеорные следы), самолетами (инверсионные следы), стартующими ракетами (газо-пылевые шлейфы), падающими в атмосфере отработавшими элементами ракетно-космической техники (так называемые ре-энтри) и т.п. Характерной особенностью подобных следов является то, что все они образованы рассеянными в пространстве частицами вещества и имеют примерно одинаковую геометрическую форму. Можно считать, что такой след представляет собой цилиндр или очень слабо расширяющийся конус, ось которого более или менее прямолинейна и достаточно протяжена в пространстве. След имеет примерно круглое сечение, а его длина во много раз больше среднего диа-

© Новосельцев В.Н. Оптические иллюзии при наблюдении протяженных атмосферных следов.

¹ Толанский С. Зрительные иллюзии. М., 1976; Миннарт С. Свет и цвет в природе. М., 1969.

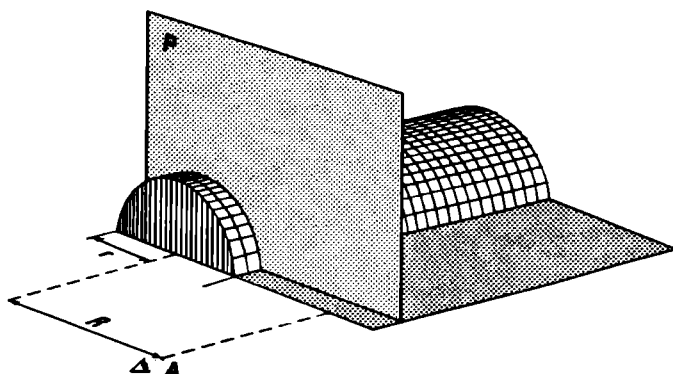


Рис.1. Схема наблюдения прямого цилиндра радиусом r и длиной L . Показана только верхняя половина цилиндра. Предполагается, что $L \gg r$; для удобства изображения длина цилиндра взята относительно небольшой. Наблюдатель находится в точке A . Плоскость P перпендикулярна оси следа.

метра. Так, поперечный размер (диаметр) ионизированных метеорных следов, которые обычно наблюдаются радиолокационными методами, часто имеет порядок сантиметров или метров, а прямой путь метеорной частицы, сгорающей в атмосфере, может составлять несколько километров. Шлейфы мощных реактивных двигателей достигают в длину нескольких десятков километров при относительно небольших диаметрах.

Будем далее называть все подобные газо-пылевые и аэрозольные образования, формирующиеся в атмосфере в результате естественных и техногенных процессов, протяженными атмосферными следами.

Протяженные атмосферные следы имеют еще одну характерную особенность. Она заключается в том, что плотность следа (и удельная мощность отраженного радиосигнала при радиолокационном наблюдении) максимальна сразу после его образования, а затем, с течением времени, постепенно уменьшается, в основном из-за рассеивания в пространстве частиц, которые его составляют. Поэтому во многих случаях такой след сначала легко наблюдаем (невооруженным глазом или с помощью приборов), потом становится менее заметным и даже невидимым (хотя физически продолжает существовать), а спустя еще какое-то время исчезает совсем. Нас будет интересовать тот период существования протяженного следа, когда его структура еще сохраняется, но плотность уже недостаточна для хорошей

видимости. В таких специфических условиях при наблюдении протяженных атмосферных следов иногда могут возникать интересные и довольно сложные формы оптических иллюзий. Если наблюдатель быстро движется (например, на самолете), то эти иллюзии могут показаться просто фантастическими.

ПРОТЯЖЕННЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ СЛЕДЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Глаз человека видит любой физический объект² только тогда, когда его яркость F_o существенно отличается от яркости фона F_ϕ — эта разность должна превышать пороговую величину F_n . Объект выглядит светлым на темном фоне при выполнении условия

$$F_o - F_\phi \geq F_n, \quad (1)$$

или темным на светлом фоне, если

$$F_\phi - F_o \geq F_n. \quad (2)$$

Рассмотрим, как выглядит протяженный атмосферный след в различных случаях. Поскольку он имеет вид очень слабо расширяющегося конуса, при анализе любой его отрезок мы будем заменять отрезком цилиндра. На рис.1 приведена схема наблюдения протяженного прямого цилиндра радиусом r и длиной L ($L \gg r$; на схеме показана только верхняя половина цилиндра). Для удобства изображения

² Луизов А.В. Глаз и свет. Л., 1983.

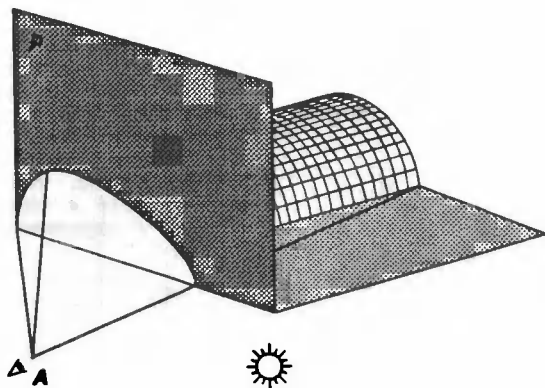


Рис.2. Рассчитанная на компьютере видимая проекция цилиндра на плоскость наблюдения. Видимый угловой диаметр следа из-за перспективы уменьшается слева направо. Вверху — освещенный Солнцем объект выглядит ярким на фоне более темного неба; внизу — Солнце затенено объектом.

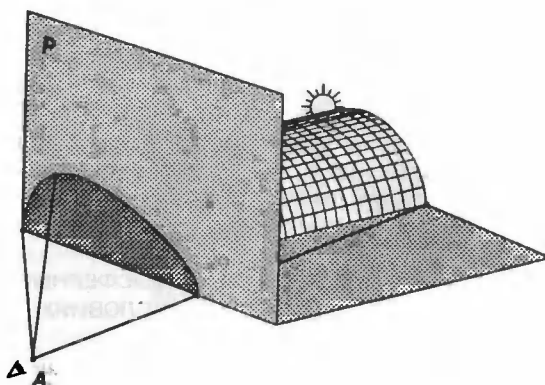


Рис.3. Фотографии протяженных атмосферных следов. Вверху — след Сихотэ-Алинского метеорита 1973 г. Метеорит пролетел слева направо. Из-за перспективы длинный след справа сходится в точку (фото из кн. Гласс Й. Ударные волны и человек. М., 1977). Внизу — шлейф мощной ракеты, движущейся на наблюдателя. Место старта — в нижней части, где находится сосулька. Хорошо виден круг — поперечное сечение следа (фото из кн. Пугач А.Ф., Чурюмов К.И. Небо без чудес. Киев, 1987).

длина цилиндра взята относительно небольшой.

Объект для наблюдателя будет выглядеть так, как он проецируется некоторым образом на плоскость, перпендикулярную лучу зрения и называемую плоскостью наблюдения. На рис.1 — это плоскость P , которая перпендикулярна оси следа. Будем считать, что наблюдатель располагается в точке A , находящейся на расстоянии R от этой оси, и его взгляд как бы скользит вдоль следа слева направо. Рассмотрим проекции следа на данную плоскость при разном освещении.

Пусть такой след образован рассеянными в атмосфере частицами вещества, а в небе светит Солнце. Вообще говоря, вопрос о том, как выглядит облакоподобный объект, освещенный Солнцем, довольно сложен. Яркость отдельных его участков опре-

деляется индикатрисой³ рассеяния света на частицах, составляющих облако. Поэтому, например, расположенное между наблюдателем и Солнцем обычное облако может иметь яркие края (рассеянный на освещенных частицах свет доходит до глаза наблюдателя) и темную середину (более близкие к наблюдателю частицы зате-няют свет, рассеиваемый более дальними).

Будем просто полагать, что если цилиндрический след освещен Солнцем со стороны наблюдателя, то на фоне неба он выглядит яркой полосой. Рассчитанная на компьютере форма проекции такого цилиндра на плоскость наблюдения показана на рис.2.

³ Индикатрисой в оптике называют двух- или трехмерную диаграмму, представляющую зависимость какой-либо оптической характеристики от направления.



Его видимый угловой диаметр уменьшается слева направо, поскольку соответствующие участки располагаются все дальше от наблюдателя и возникает эффект перопективы.

Если след лежит между Солнцем и наблюдателем, то объект имеет ту же форму, но в зависимости от плотности виден по-разному. Плотный след «непрозрачен» и поэтому выглядит темным на светлом фоне неба (рис.2). Таков на фотографии след большого Сихотэ-Алинского метеорита 1973 г. (рис.3).

Разреженный след рассеивает лучи Солнца, не затеняя их; такой след ярче небесного фона. Так, инверсионный след самолета на голубом небе выглядит белым при любом расположении относительно Солнца и наблюдателя.

Примерно так же наблюдаются протяженные следы от стартовавших космических ракет — газо-пылевые шлейфы, образованные продуктами сгорания реактивных двигателей. Пока они не рассеялись и имеют большую плотность, их часто видят летчики и космонавты. В этих случаях следы легко опознаются именно как ракетные шлейфы, протянувшиеся в верхних слоях атмосферы на многие километры⁴. Протяженный след ракеты, расположенный на высоте порядка десяти—двадцати километров и освещенный Солнцем, находящимся ниже горизонта, выглядит ярким на фоне сумеречного неба (рис.3).

Обычно расстояние R , с которого проводится наблюдение, так велико, что глаз человека уже не способен его правильно оценивать (такая способность сохраняется на дистанциях порядка ста метров). Тем не менее человек во многих случаях может уверенно распознать форму объекта, а по ряду косвенных признаков составить представление о расстоянии до него и, возможно, о его размерах. Так, инверсионный след самолета

⁴ Авакян С.В., Коваленок В.В. Неопознанные явления — «продолки» плазмы? // Природа. 1992. № 6. С.72—77.

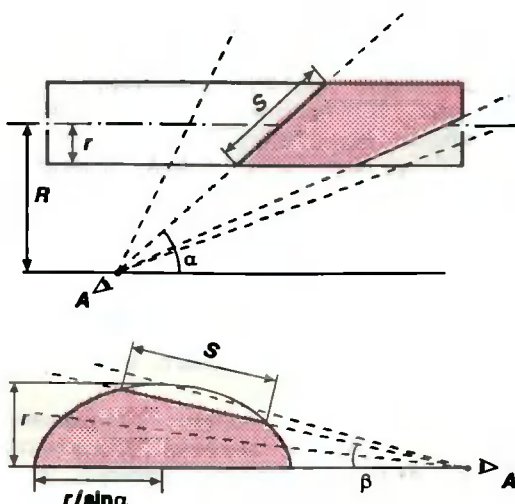


Рис.4. Пересечение лучом зрения протяженного следа. Видимые наблюдателю части следа показаны цветом — они соответствуют длинам хорд $S \geq S_0$, где S_0 — пороговая величина. При больших углах пересечения луч зрения проходит цилиндр, не порождая светового сигнала на сетчатке глаза. Вверху — луч лежит в плоскости, проходящей через ось следа. Справа снизу часть следа остается невидимой. Для наглядности принято, что минимальная длина хорды, при которой интенсивность сигнала достаточна для появления изображения на сетчатке глаза, втрое больше радиуса цилиндра ($S_0 = 3r$). Внизу — луч зрения поднимается над этой плоскостью на угол β . Верхушка цилиндрического тела для наблюдателя в точке А остается прозрачной и не видна.

кажется очень далеким, потому что сам самолет выглядит точкой. Если же в поле зрения знакомые объекты (с известными размерами, как самолет в предыдущем случае) отсутствуют, то оценку дальности произвести практически невозможно, что имеет место на рис.3. Однако часто наблюдатель, ориентируясь на объекты, расположенные на земной поверхности (деревья, дома и т.п.), в зависимости от своего жизненного опыта может оценить расстояние до следа как в несколько десятков или сотен метров, так и в несколько километров (первое скорее сделает водитель или инженер-строитель, второе — летчик или специалист-метеоролог).

ИЛЛЮЗИЯ СВЕЯЩЕГОСЯ ШАРА

В первом приближении можно считать, что интенсивность светового сигнала, поступающего с некоторого направления на сетчатку глаза от рассеянных в пространстве частиц, пропорциональна количеству таких частиц, расположенных вдоль луча зрения, идущего по этому направлению. Рассмотрим в рамках такого допущения, как будет выглядеть протяженный атмосферный след после существенного уменьшения его плотности. Будем считать также, что частицы расположены внутри цилиндра, показанного на рис.1, равномерно и с достаточно малой плотностью.

Если луч зрения лежит в плоскости, проходящей через ось цилиндра, и пересекает эту ось под углом α , то он проходит внутри цилиндра расстояние $S = 2r/\sin \alpha$ (рис.4). Тогда интенсивность светового сигнала, поступающего на сетчатку с этого направления, равна

$$F_a = 2\rho r/\sin \alpha, \quad (3)$$

где ρ — удельная величина рассеяния солнечного света частицами (эффектом затенения близлежащими частицами света от частиц, лежащих дальше по лучу зрения, при малой плотности частиц можно пренебречь). Если луч зрения поднимается над данной плоскостью на угол β , то его путь S внутри цилиндра еще уменьшается. Теперь он равен длине хорды эллипса с полуосями $r/\sin \alpha$ (большая) и r (малая), имеющей наклон β к горизонтали (рис.4). Соответственно уменьшается и интенсивность поступающего на сетчатку сигнала.

Таким образом, если луч зрения пересекает протяженный след поперек, то с этого направления глаз получает слабый световой сигнал. Пусть величина r в (3) настолько мала, что при $\alpha = 90^\circ$ световой сигнал меньше порогового значения:

$$2\rho r - F_\phi < F_n. \quad (4)$$

Тогда «на просвет» протяженный след в атмосфере не виден.

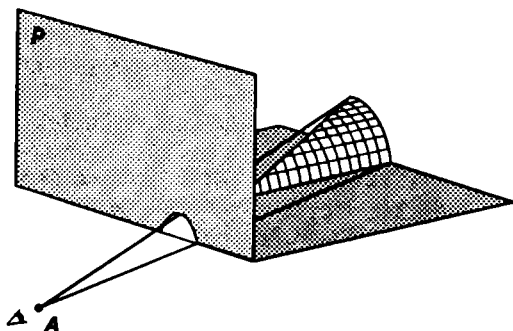


Рис.5. Разреженный протяженный след в проекции на плоскость наблюдения. Наблюдателю кажется, что он видит эллиптическое тело.

Представлены результаты компьютерных расчетов (для наглядности длина цилиндра взята относительно небольшой).

Если же луч зрения идет вдоль следа (почти параллельно его оси), сигнал многократно возрастает. Поэтому удаленные от наблюдателя участки цилиндра, которые луч зрения проходит под малыми углами α , могут остаться видимыми. Действительно, для дальнего конца цилиндра величина $\sin \alpha$ может оказаться достаточно малой, и тогда световой сигнал (3) от точек на дальнем конце цилиндра во много раз превышает величину gr .

На рис.4 часть цилиндра, удовлетворяющая этому условию и потому видимая наблюдателю, показана цветом. Можно построить и трехмерное изображение видимой части такого объекта, если задаться значениями параметров r , L , R (а также F_ϕ и F_n) и вычислить длины соответствующих хорд. На рис.5 представлены результаты компьютерных расчетов; на плоскость наблюдения объект проецируется теперь как эллипсоподобная фигура. Форма видимой части и ее проекции, как показывают эти расчеты, довольно сложным образом зависит от указанных параметров. Отметим одно свойство этой зависимости: чем меньше величина R , тем ближе проекция к кругу при прочих равных условиях. Если $R = 0$ (наблюдатель находится на оси цилиндра), то проекция имеет

форму точного круга с угловым размером

$$\alpha = \arcsin(2r_p/(F_\phi + F_n)). \quad (5)$$

Очевидно, что в случае разреженного протяженного следа в атмосфере могут сложиться такие условия, когда наблюдатель вместо легко узнаваемого длинного следа будет видеть иллюзорный объект круглой или эллипсоподобной формы. Из предыдущего рассмотрения следует, что на фоне неба этот объект может выглядеть как ярким, так и темным, причем достоверные оценки невооруженным глазом его линейных размеров и дальности до него практически невозможны. Поскольку простейшими физическими телами, дающими такие проекции, являются шар и эллипсоид, наблюдатель должен идентифицировать видимую картину именно с ними. Возникновение подобной картины можно назвать иллюзией светящегося шара.

ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ СВЕТЯЩЕГОСЯ ШАРА И ЕГО ДВИЖЕНИЕ

Представим теперь, что наблюдатель приближается (например, на самолете) к протяженному атмосферному следу, для которого интенсивность рассеянного света сначала не достигает порогового уровня. Такой след первое время остается невидимым, и в поле зрения никаких объектов нет.

Пусть цилиндр расположен спереди и правее наблюдателя, а сам наблюдатель, у которого Солнце находится за спиной, движется по перпендикуляру к оси цилиндра (рис.6).

По мере приближения наблюдателя к цилиндру угол α , под которым должен бы быть виден дальний конец цилиндра, постепенно уменьшается, так что интенсивность светового сигнала, поступающего на сетчатку с этого направления, в соответствии с (3) постепенно возрастает. В некоторый момент для самой дальней точки цилиндра интенсивность сигнала на сетчатке достигает порогового значе-

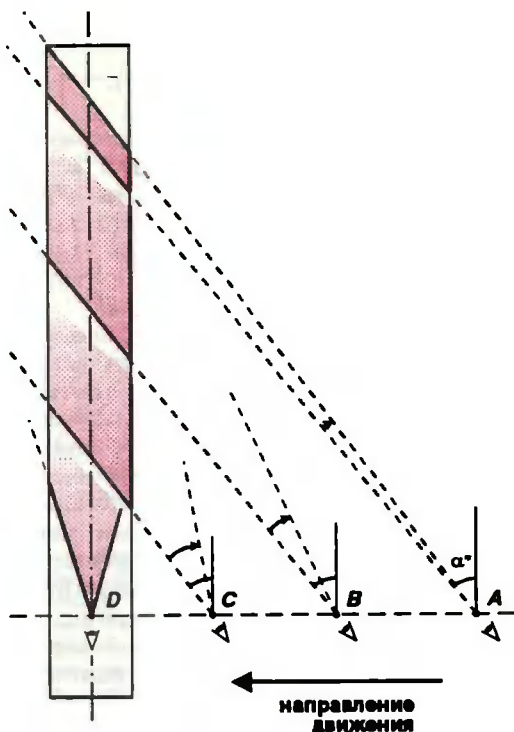


Рис. 6. Иллюзия появления светящегося шара. Наблюдатель приближается справа по перпендикуляру к протяженному следу. До точки А интенсивность сигнала на сетчатке глаза на осях направленных луча зрения не превышает порогового уровня; след невидим (прозрачен). По мере приближения угол α , под которым виден правый конец цилиндра, постепенно уменьшается, и интенсивность светового сигнала на сетчатке возрастает. При $\alpha = \alpha^*$ достигается пороговое значение, и на сетчатке появляется изображение дальнего конца цилиндра — сначала в виде точки, затем — эллипсоподобного объекта. Точечный объект постепенно увеличивается и меняет форму (эллипсоид — точки В и С, а затем сфера — точка D на оси цилиндра).

ния. Обозначим величину угла α в этот момент как α^* (очевидно, $\alpha^* < 90^\circ$):

$$2r\rho/\sin \alpha^* \geq F_n + F_\phi. \quad (6)$$

В правой части поля зрения перед наблюдателем (под углом α^*) внезапно появляется яркий объект.

Сначала это точка, затем она разрастается в эллипс. При дальнейшем приближении к цилиндру все большая его часть просматривается

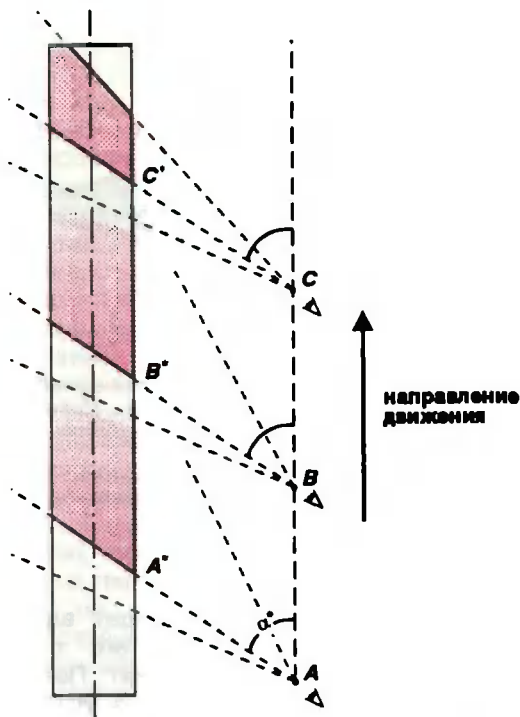


Рис. 7. Иллюзия сопровождения объектом движущегося наблюдателя. Наблюдатель движется параллельно оси следа (точки А, В, С). Точка, начиная с которой «дальняя» часть цилиндра становится видимой (ее положение — А', В' и С'), реально перемещается в пространстве в том же направлении и с той же скоростью, что и наблюдатель. Это означает, что иллюзорный объект сопровождает наблюдателя — визуально он движется параллельно ему и с той же скоростью. При достижении конца цилиндра видимый объект резко уменьшается в угловых размерах (точки С и С') и за точкой С внезапно пропадает.

наблюдателем под углами зрения, которые меньше критического значения α^* . Поэтому с видимым объектом происходит ряд изменений. Он начинает увеличиваться в размере (зрительно как бы приближаясь к наблюдателю), постепенно меняя форму и становясь все более округлым. Кроме того, угол, под которым виден объект, несколько увеличивается (объект как бы смещается по отношению к движущемуся наблюдателю, отставая от него). В

момент пересечения оси цилиндра наблюдатель может видеть яркий шар, расположенный от него строго справа ($\alpha=0^\circ$).

Если наблюдатель продолжает движение по прямой, теперь уже удаляясь от оси цилиндра, то шар перемещается ему за спину ($\alpha<0^\circ$), снова превращаясь при этом сначала в эллипсоид, а затем (при $\alpha=-\alpha'$) — в точку, где внезапно исчезает. Эти стадии иллюзии на рисунке не показаны.

Наиболее интригующий вариант иллюзии возникает в том случае, когда наблюдатель движется параллельно оси следа. Для определенности положим, что Солнце расположено справа от наблюдателя, а цилиндр — слева (рис.7). Тогда точка, начиная с которой его «дальняя» часть становится видимой ($\alpha\leq\alpha'$), реально перемещается в пространстве в том же направлении и с той же скоростью, что и наблюдатель.

Это означает, что иллюзорный объект движется вместе с наблюдателем и с той же скоростью: какое-то время его сопровождает, а затем (когда точка начала видимости приблизится к концу следа) резко уменьшается в размерах до точечных и исчезает. Однако реальный след остался за спиной наблюдателя, и, оглянувшись, он снова может увидеть объект (под дополнительным углом $\alpha=180-\alpha'$). Этой стадии иллюзии на рисунке тоже нет.

СЛОЖНЫЕ ФОРМЫ ИЛЛЮЗИЙ

Можно ожидать, что с описанными иллюзиями чаще других сталкиваются летчики. Во-первых, они перемещаются в воздухе и могут оказаться вблизи протяженных следов различной природы, время от времени возникающих в атмосфере. Во-вторых, они внимательно следят за воздушным пространством.

При встрече самолета с неподвижным протяженным следом может возникнуть одна или несколько из этих форм иллюзий. Мы не касаемся

другого возможного варианта — когда наблюдатель неподвижен, а протяженный след перемещается. Ясно, что разворачивающиеся при этом картины будут похожи на уже рассмотренные.

Любые перемещения самолета относительно атмосферного следа можно разложить на две компоненты — вдоль и поперек его оси. Соответственно и движение иллюзорного объекта в поле зрения летчика будет складываться из двух составляющих, т.е. будет достаточно сложным. В зависимости от взаимного расположения перемещающегося наблюдателя и неподвижного следа этот объект может появиться, произвести маневрирование, «сопровождать» самолет, а затем исчезнуть.

Кроме того, сам факт появления неопознанного объекта в поле зрения летчика может спровоцировать его ответное поведение, и тогда происходят взаимообусловленные события: каждый реальный маневр самолета вызывает иллюзорный ответ объекта, что в свою очередь толкает летчика на новые действия и т.д. Ситуация приобретает эмоциональную окраску — летчик воспринимает эти реакции объекта как разумный ответ на свои поступки. Естественно, что такие случаи, попадая время от времени на страницы печати, оставались до настоящего времени необъясненными. Ниже мы сделаем попытку дать объяснение одного из наиболее интересных случаев такого рода.

СЛУЧАЙ В АРКТИКЕ

В 1967 г. флаг-штурман полярной авиации СССР В.И.Акуратов в ответ на запрос министра гражданской авиации Е.Ф.Логинова отправил отчет о встречах с неопознанными летающими объектами в Арктике⁵. Для нас интересно следующее описание.

14 августа 1956 г. экипаж В.И.Акуратова на самолете «Ту-4» выполнял дальнюю ледовую разведку по мар-

⁵ Акуратов В.И. Без опознавательных знаков // Феномен. М., 1989. С.88—92.

шруту: мыс Шмидта — Северный полюс — мыс Моррис-Джасеп на севере Гренландии — остров Медвежий — Амдерма. Через 10 часов полета на траверзе гренландского мыса самолет вышел из обширной облачности. Справа были ярко освещенные Солнцем берега Гренландии, слева — облака. Глядя в бинокль на восток, летчики внезапно увидели метрах в 200—250 странный аппарат, по форме напоминающий дирижабль, который летел параллельным курсом на той же высоте, что и «Ту-4». Был он жемчужного цвета, как Луна днем. На нем не было видно ни опознавательных знаков, ни люков, ни антенн, не было и выхлопов от двигателей. Он был похож на большую чечевицу с волнообразно пульсирующими краями. На сигналы аппарат не реагировал, а на экране локатора давал яркую отметку, как и самолет. Поскольку в 860 км на траверзе находилась американская военная база в Туле, летчики приняли объект за неизвестный летательный аппарат.

Встреча произошла на высоте полета 300 м и при скорости 380 км/час. Через 5 минут надо было совершать разворот влево на о. Медвежий — в сторону близко летящего «американца». Чтобы избежать столкновения, «Ту-4» качнул крыльями в знак приветствия, сбросил скорость и осторожно развернулся в сторону соседа. Тот, не ответив на приветствие, синхронно повторил маневр и лег на параллельный курс. («Он явно интересовался нами», — прокомментировал Аккуратов.) Чтобы оторваться, «Ту-4» ушел в облака и продолжил полет на о. Медвежий на высоте 900 м.

Через 38—40 минут полета облачность кончилась, и летчики по левому борту снова увидели аппарат. Решив «шугануть» его, они резко изменили курс (на 60°) и пошли на сближение. Неизвестный аппарат тоже отвернул влево, точно отражение в зеркале. Легли снова на генеральный курс — аппарат, как тень, продолжал следовать за «Ту-4».

Через 15—18 минут полета (вблизи о. Медвежий) неизвестный вдруг

«рванул вперед, ушел вверх и бесследно исчез». Скорость ухода была так велика, что явление показалось сверхъестественным.

ТРАКТОВКА СОБЫТИЯ

На рис.8 приведена карта арктического региона, в котором произошли описанные события.

Будем исходить из того, что в сообщении описаны оптические иллюзии, возникшие у пилотов при встрече с неподвижным протяженным следом, который образовался в верхних слоях атмосферы 14 августа 1956 г. Кажется наиболее вероятным, что след имел техногенную природу и был результатом запуска баллистической ракеты с подводной лодки в северной части Норвежского моря (косвенные данные, позволяющие сделать такое допущение, рассмотрены ниже).

Диаметр d ракетного следа определяется разлетом продуктов сгорания, а длина L — величиной активного участка траектории (не встречая заметного сопротивления воздуха, на такой высоте частицы после вылета из сопел двигателя продолжают движение, что увеличивает длину следа). Ориентировочно можно считать диаметр облака разлета $d \approx 500$ м, а L — величиной порядка десятков километров. След расположен более или менее горизонтально на высоте $H \approx 10$ —20 км над землей.

Цвет, яркость и форма наблюдаемого объекта вполне согласуются с таким предположением. Аппарат «жемчужного цвета, как Луна днем» — цвет, подходящий для газово-пылевого объекта, видимого (как и Луна днем) через плотные слои атмосферы. Как мы убедились выше, чечевица — вполне адекватная характеристика сложной формы наблюдаемой проекции следа.

Ранее уже отмечалось, что сразу после запуска ракетные следы видны хорошо⁶. Они сохраняются в верхних

⁶ О яркости ракетных шлейфов и их наблюдении на фоне сумеречного неба см., например: Платов Ю.В., Рубцов В.В. НЛО и современная наука. М., 1991.

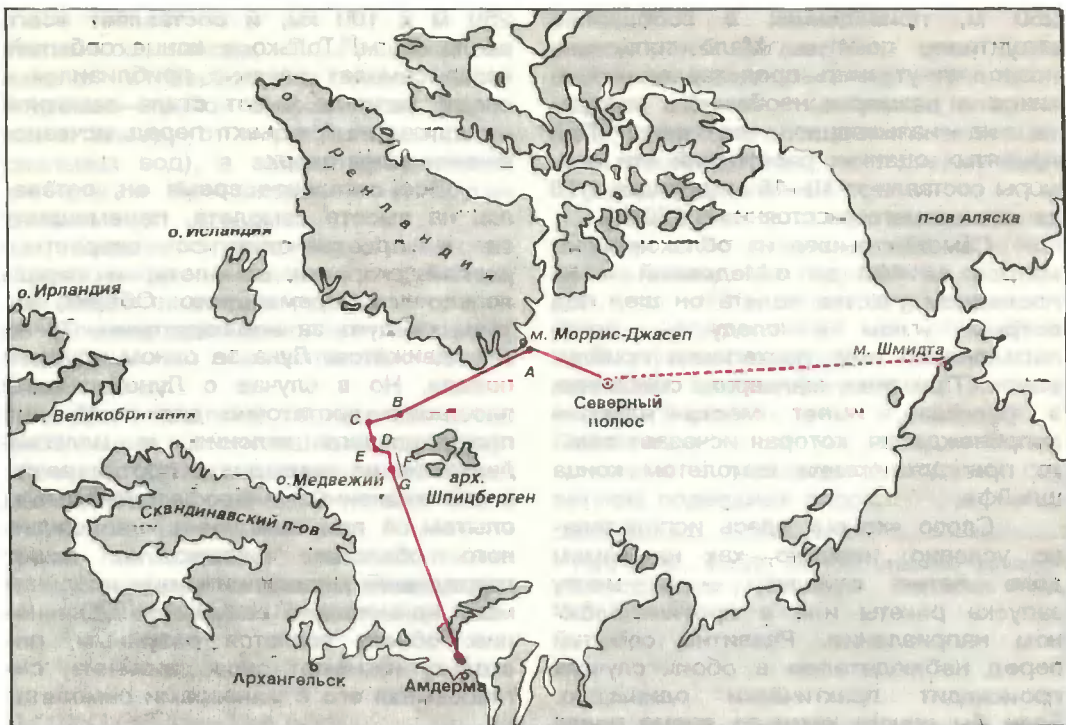


Рис.8. Карта арктического региона, в котором происходили события, описанные В.И.Аккура-вым.

По тексту сообщения трудно точно указать место, где мог находиться след стартовавшей ракеты; показан только предположительный вариант. А — поворот у мыса Моррис-Джасеп; В — выход из облачности, где впервые замечен объект; С — разворот на о.Медвежий (участок CD — полет в облаках); Е — разворот на 60° в направлении на видимый объект; G — точка исчезновения объекта; F — ориентировочное положение протяженного следа.

слоях атмосферы, насколько можно судить по имеющимся описаниям, в течение многих часов. Поэтому ясно, что, постепенно рассеиваясь, след пройдет стадию «полувидимости», которая будет достаточно продолжительной по времени и при благоприятном стечении обстоятельств может породить описанные выше иллюзии.

К сожалению, по тексту сообщения трудно указать место на карте, где произошла встреча и где мог находиться след. Действительно, расстояние от м.Моррис-Джасеп до

о.Медвежий по прямой около 1500 км, и самолет должен был пройти его за 200—250 минут, из которых в сообщении «расписаны» только 65. Тем не менее можно предложить несколько вариантов — один из них показан на рис.8.

Развитие событий, реконструированных в рамках нашего анализа возникновения иллюзий, протекает теперь в полном соответствии с тем, как они представлены в описании Аккура-това. После выхода из облачности на траверзе м.Моррис-Джасеп самолет летел до точки встречи, вероятно, не менее двух часов. Если бы разворот на о.Медвежий произошел раньше, то маршрут прошел бы над о.Шпицберген (который в тексте не упомянут).

Объект обнаружили за 30 км до разворота, в направлении на восток — т.е. слева—спереди (по тексту — под углом около 60°).

Расстояние до следа (сначала сотни, а затем десятки километров) наблюдатель, глядя в бинокль, реально определить не может, так что оценка в

250 м, приведенная в сообщении, интуитивно понятна. Мало того, она позволяет уточнить представление летчиков о размерах необычного аппарата, не называвших его явно. При принятых оценках расстояний эти размеры составляют 10—15 м (порядка 1/20 от называемого расстояния в 250 м).

Самолет вышел из облаков километров за 400 до о.Медвежий — на последнем участке полета он шел под острым углом к следу — почти параллельно ему, постепенно приближаясь. При всех маневрах, описанных в рассказе, имеет место иллюзия сопровождения, которая исчезает только при достижении самолетом конца шлейфа.

Слово «конец» здесь использовано условно: неважно, как на самом деле летел самолет, — к месту запуска ракеты или в противоположном направлении. Развитие событий перед наблюдателем в обоих случаях происходит практически одинаково. Если бы спустя какое-то время после исчезновения объекта летчики имели возможность осмотреть в бинокль горизонт не только слева—спереди, но и слева—сзади, они бы обнаружили там симметричный объект.

Появление метки на локаторе вполне естественно: обширное облако рассеянных частиц дает заметный отраженный сигнал. Метка на экране вряд ли могла уточнить расстояние до объекта (расстояние по локатору в сообщении и не называется). Действительно, локатор «Ту-4» рассчитан на десятки километров (так, гренландский мыс появился на экране за 25 минут до подлета, т.е. за 150 км). Объект же, по мнению участников событий, находился примерно в 250 м.

При маневрах самолета по высоте у пилотов возникает естественная иллюзия: объект перемещается на той же высоте, что и самолет (сначала 300, потом — 900 метров). Действительно, оцениваемая разница высот самолета и иллюзорного объекта относится к истинной разности высот самолета и следа как кажущееся и истинное расстояния до объекта, т.е.

250 м к 100 км, и составляет всего около 25 м. Только в конце событий, когда самолет реально приблизился к следу, разница высот стала заметной — иллюзорный объект перед исчезновением ушел вверх.

Все остальное время он, оставаясь на высоте самолета, перемещается в пространстве со скоростью, равной скорости самолета, и параллельно его перемещению. Объект, как тень, следует за наблюдателем. Точно так «движется» Луна за окном идущего поезда. Но в случае с Луной знаний пассажира достаточно для понимания происходящего явления, и иллюзия движения не приходит в противоречие с его жизненным и профессиональным опытом. А при появлении «неопознанного объекта» человек не имеет подходящей модели ситуации и принимает единственно возможное объяснение: объект является разумным, поскольку изменяет свое движение, согласовывая его с маневрами самолета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предположение о запуске баллистической ракеты с подводной лодки в северной части Норвежского моря 14 августа 1956 г. еще недавно могло показаться неправдоподобным. Однако последние публикации и воспоминания участников событий позволяют считать его вполне вероятным, хотя точных данных о факте запуска пока нет.

Действительно, баллистические ракеты были установлены на наших подводных лодках в 1955 г.; первый старт модифицированной для флота ракеты Р-11 был произведен из надводного положения у берегов Кольского полуострова с подводной лодки ПЛ Б-67 почти за год до описанных событий⁷ — 16 сентября 1955 г.

С августа по октябрь 1956 г. на Северном флоте состоялся крупный поход, в котором приняло участие несколько соединений подводных лодок. По воспоминаниям одного из

⁷ Урбан В. «Волна» поднялась в Белом море // Красная Звезда. 1995, 17 июня. С.6.

участников похода, П.Д.Пашенко, он начался в Норвежском море (место встречи — район Лофотенских островов к северу от норвежских территориальных вод), а затем переместился к берегам Гренландии и в другие районы.

Кажется вполне вероятным, что стратегическая ледовая разведка В.И.Аккуратова, проведенная по столь необычному для Севморпути маршруту, была одним из элементов обеспечения этого похода.

Для читателя, интересующегося проблемами неопознанных летающих объектов, дата рассмотренных явлений должна быть знакома. В ночь с 13 на 14 августа 1956 г. события, во многом точно повторяющие эпизоды полета Аккуратова, произошли в районе военно-воздушной базы Лейкенхид в севе-

ро-восточной Англии. Там тоже было отмечено внезапное появление светящегося объекта, маневры которого были согласованы с движением самолета-преследователя, и такое же бесследное исчезновение⁸.

Об одной стороне этого происшествия стоит сказать особо. В конце полета пилот-преследователь обнаружил, что «НЛО зашло ему в хвост». Это — единственная из описанных нами форм иллюзий, которую не наблюдал экипаж Аккуратова. Поэтому вполне вероятно, что и события в Лейкенхиде — та же игра иллюзий, связанная с упомянутым походом советских подводных лодок.

⁸ Риб Ж.-К., Моне Ги. НЛО глазами французских астрономов // Земля и Вселенная. 1992. № 6. С.82—89.

НОВОСТИ НАУКИ

Физика

Оптоэлектроника на кремнии

Уже сейчас оптоэлектроника заняла видное место в развитии средств телекоммуникации. Однако ее более широкое применение сдерживается относительной дороговизной элементов. Полагают, что оптоэлементы, реализуемые на основе кремния, окажутся более дешевыми и удобными в эксплуатации.

Трудность в создании таких оптоэлементов заключается в том, что Si не относится к прямозонным полупроводникам; здесь в процессе излучения наряду с электроном и фотоном участвует фонон. Эффективность происходящих процессов значительно ниже, чем у прямых переходов.

Однако когда размеры структуры достигают 1—10 нм, наступает состояние квантового конфайнмента. Картина зонной структуры сильно меняется, переход из непрямого может превратиться в прямой. Квантовый конфайнмент уже используется в оптоэлектронике на базе соединений элементов III—V групп, например GaAs. Узкие квантовые ямы увеличивают эффективность лазеров.

Группа канадских исследователей (Z.H.Lu, D.J.Lockwood, J.M.Baribeau) установила, что, используя этот эффект, можно создавать оптические элементы на основе кремния. Был изучен спектр поглощения структуры, состоящей из слоев Si/SiO₂. Эксперименты показали, что при размерах в несколько нанометров переход действительно становится прямым.

Новизна подхода этой группы ученых к решению проблемы состояла в использовании некристаллического Si. Система кремний—диоксид кремния была выбрана не случайно. Она играет центральную роль в «кремниевой электронике». А успехи в этой области поразительны: в последнее время плотность транзисторов в микросхемах удваивается каждые 18 мес. И возможность напыления оптических элементов непосредственно в микросхеме очень заманчива. Конечно, предстоит еще немалая работа в этом направлении. Тем не менее данная серия экспериментов — прямое доказательство возможности создания кремниевой оптоэлектроники.

Nature. 1995. V.378. № 6554. P.238, 258 (Великобритания).

Молекулярная диагностика наследственных болезней

В. С. Баранов



Владислав Сергеевич Баранов, доктор медицинских наук, соросовский профессор, заведующий лабораторией пренатальной диагностики наследственных и врожденных болезней Института акушерства и гинекологии им. Д.О.Отто РАМН, руководитель Всероссийского центра пренатальной диагностики муковисцидоза и Городского центра пренатальной диагностики (Санкт-Петербург), главный специалист города по медицинской генетике. Основная область научных интересов — генетика развития человека, медицинская генетика, генная терапия. Лауреат премии им. А.А.Баева по программе «Геном человека» (1996).

РАСШИФРОВКА структуры и принципа организации молекулы наследственности — знаменитой и знакомой каждому школьнику двойной спирали ДНК — открытие, сделанное Дж.Уотсоном и Фр.Криком (Нобелевская премия 1953 г.), ознаменовало новую эру в биологии и медицине. Началось широкомасштабное наступление науки на изучение структурно-функциональной организации этой гигантской молекулы, присутствующей в каждой клетке живого существа любого уровня организации — от вируса до человека. Завораживающее единство всего живого, в основе которого лежит единообразие хранения, функции и передачи наследственной информации в форме ее материального носителя (ДНК), привлекло к себе внимание специалистов естественных наук самого разного профиля — химиков, физиков, биологов, медиков и, конечно, генетиков.

Следующими важными этапами в этой области стали: расшифровка генетического кода (1961), открытие особых бактериальных ферментов — эндонуклеаз, высокоспецифически узнающих и точно разрезающих двойную спираль ДНК в местах со строго определенной последовательностью нуклеотидов (1968), разработка на этой основе биотехнологии клонирования, т.е. размножения целых генов или их функционально активных фрагментов вне организма — в бактериальных, дрожжевых и других клеточных системах (1977) и, наконец, открытие полимеразной цепной реакции (ПЦР), позволяющей без всякого клонирова-

© Баранов В.С. Молекулярная диагностика наследственных болезней. (Статья подготовлена на основе обзорной лекции для соросовских учителей.)

ния нарабатывать в течение нескольких часов препаративные количества (миллионы копий) фрагментов ДНК и целых генов (1983).

Логическим продолжением триумфального шествия молекулярной биологии последних лет явилась организация в 1990 г. Международной научной программы «Геном человека» («Human Genome»)¹. Цель ее — не только полностью секвенировать геном, т.е. установить первичную последовательность всех нуклеотидов гигантской молекулы ДНК (1.5 м в каждой клетке человека), но, что не менее важно, идентифицировать все гены человека, в том числе и гены, ответственные за многие тысячи уже известных наследственных болезней. А сколько наследственных болезней и, соответственно, генов еще неизвестно?!

Вместе с тем, уже сейчас наука располагает информацией, что около 2.5% новорожденных страдают теми или иными наследственными нарушениями; около 40% ранней младенческой смертности и детской инвалидности обусловлены наследственными факторами; примерно 30% коек в детских стационарах заняты детьми с наследственной патологией². И это не случайно.

Задача данной лекции, рассчитанной на уровень подготовки школьников старших классов, интересующихся биологией, учителей-биологов средней школы, а также студентов биофаков, попытаться ответить на следующие основные вопросы:

Каким образом успехи в изучении генома человека связаны с прогрессом в диагностике, лечении и профилактике наследственных заболеваний?

Каковы основные принципы молекулярной диагностики наследственных болезней?

Каково состояние молекулярной диагностики и профилактики социально наиболее важных наследственных болезней в мире и в нашей стране?

ГЕНОМ И ЕГО ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Термин «геном» используется для обозначения полной генетической системы клетки, определяющей развитие всего организма и наследственную передачу в ряду поколений всех его структурных и функциональных признаков. По сути геном — это совокупность всех молекул ДНК клетки: и ядерной, расположенной в клеточном ядре в виде хромосом, и внеядерной — митохондриальной. Всего в каждой клетке у человека и других млекопитающих содержится около 6 пг ДНК, а общая длина гаплоидного набора, т.е. половинного числа всех хромосом клетки, оценивается равным 3.5×10^9 пар нуклеотидов — аденина, тимина, цитозина и гуанина. Этого количества ДНК вполне достаточно для размещения нескольких миллионов генов — дискретных единиц генома, кодирующих информацию, необходимую для синтеза белков, которые составляют основу любого живого организма.

Однако по многим независимым оценкам реальное число генов находится в пределах 50—80 тыс. Сопоставляя это число со средними размерами одного гена (около 10—30 тыс. пар нуклеотидов), можно заключить, что кодирующие последовательности ДНК занимают не более 10—15% всего генома. Следовательно, основная часть ДНК клетки не несет информации об аминокислотной последовательности белков, и потому ее называют избыточной, «мусорной». Предполагается, что она участвует в работе (экспрессии) генов, выполняет структурные функции, обеспечивает конъюгацию (спаривание) гомологичных хромосом в мейозе и, возможно, является носителем какого-то принципиально иного генетического кода.

ПРОГРАММА «ГЕНОМ ЧЕЛОВЕКА»

Официально Международная научная программа «Геном человека» с участием ведущих молекулярно-генетических лабораторий США, Западной

¹ Подробнее см. Баев А.А. Геном человека // Природа. 1995. № 4. С.64—73.

² WHO Working Group Report. Geneva 25—29 May, 1992.

Таблица 1

Моногенные наследственные болезни, диагностируемые молекулярными методами и доступные пренатальной диагностике в России

Название болезни	Где возможна диагностика
Муковисцидоз (кистозный фиброз поджелудочной железы)	ИАГ; ИЭМ
Миодистрофия Дюшенна (Беккера)	РЦМГ; ТИМГ
Гемофилия А	ИАГ; РЦМГ;
Гемофилия В	ТИМГ
Фенилкетонурия	ИАГ; ГНЦ
	ИАГ; ГНЦ
	ИАГ; ГНЦ;
	ПИ; РЦМГ
Синдром ломкой X-хромосомы	ИАГ
Адрено-генитальный синдром	ГНЦ; ПИ;
	ЦОЗМИР
Атаксия Фредрейха	ГНЦ
Миотоническая дистрофия	ИАГ
Болезнь Виллибрандта	ИАГ; ГНЦ
β-талассемия	ГНЦ; ПИ
Хорея Гентингтона	ИАГ;
	РЦМГ; ИН
Болезнь Верниге—Гоффмана	РЦМГ
Болезнь Леш—Нихана	ИАГ
Спино-бульбарная мышечная атрофия	ИАГ
Гепато-ленткулярная дегенерация (болезнь Вильсона—Коновалова)	РЦМГ; ИАГ
Дефицит 1-антитрипсина	ИЭМ
Болезнь Хантера	ИАГ
Семейная гиперхолестеринемия	ИЭМ; ПИ
Наследственно обусловленная предрасположенность к инсулинзависимому диабету	ПИ
Дефицит ацил-СоА дегидрогеназы	ПИ

ИАГ — Институт акушерства и гинекологии РАМН, С.-Петербург

ИЭМ — Институт экспериментальной медицины РАМН, С.-Петербург

ПИ — Педиатрический институт, С.-Петербург

РЦМГ — Российский центр генетики РАМН, Москва

ГНЦ — Гематологический научный центр МЗ РФ, Москва

ЦОЗМИР — Центр охраны здоровья матери и ребенка

ТИМГ — Томский институт медицинской генетики, Томск

ИН — Научно-исследовательский институт неврологии РАМН

Европы, России и Японии оформилась в 1990 г. Однако задолго до приобретения официального статуса в этих странах проводились молекулярные исследования по изучению генома человека³. История отечественной про-

граммы началась в 1987 г. Ее инициатором и безусловным лидером в течение многих лет был академик А.А.Баев. По его настоянию в 1989 г. она стала одной из ведущих государственных научно-технических программ СССР. Основные разделы этой программы как в России, так и во всем мире включают три главных направления: секвенирование и картирование генома; структурно-функциональное изучение генома; медицинскую генетику и генотерапию.

Полагали, что основной раздел программы, касающийся секвенирования генома (т.е. расшифровки первичной последовательности всей молекулы ДНК одной клетки человека), будет завершено к 2005 г. Однако серьезные технические усовершенствования этого трудоемкого процесса, его автоматизация и резкое снижение себестоимости (от 1 долл. США за одну нуклеотидную пару в 1990 г. до 0.2 долл. в 1995 г.) позволяет надеяться, что эта задача будет выполнена уже к 2000 г.⁴

Естественно, что в итоге такой работы будут идентифицированы (картированы) и все гены человека, т.е. точно определено их число, а также взаиморасположение на генетической карте, структурно-функциональные особенности, в том числе их роль в многочисленных наследственных болезнях и наиболее частых недугах человека с выраженной наследственной предрасположенностью (гипертония, онкологические заболевания, ишемическая болезнь сердца).

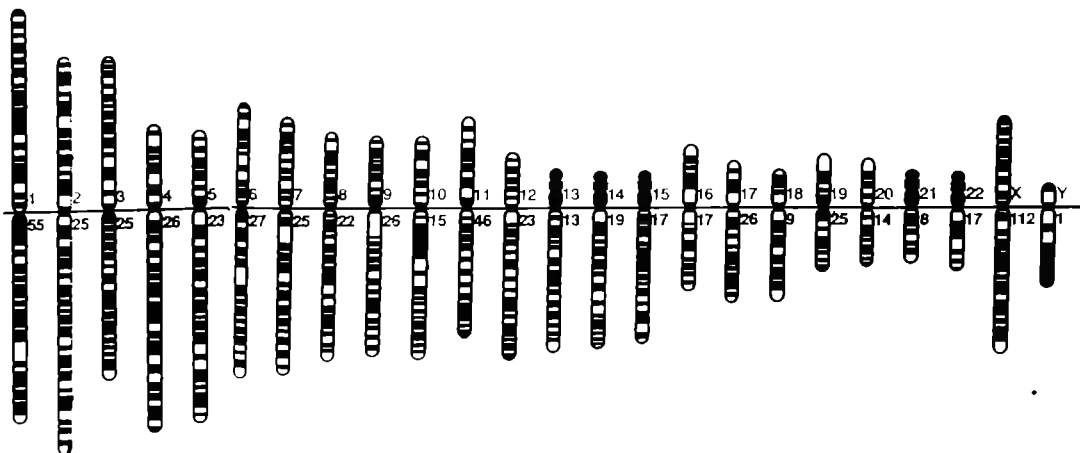
Таким образом, изучение молекулярных основ наследственных болезней, их диагностика, профилактика и лечение представляют собой один из важных итогов реализации данной программы.

КАРТИРОВАНИЕ ГЕНОВ

По мнению Дж.Уотсона, первооткрывателя структуры молекулы ДНК и

³ Баев А.А. Итоги науки и техники. Геном человека. М., 1990. Т.1. С.4.

⁴ Marshall E. // Science. 1995. V.267. P.783.



Хромосомная карта генов, мутации которых ведут к наследственным заболеваниям. Над чертой — номера хромосом; под чертой — число картированных генов (всего — 576). Характерный рисунок поперечной исчерченности хромосом выявляется с помощью дифференциальной окраски.

первого руководителя Международной программы «Геном человека», идентификация всех генов человека — одна из конечных целей проекта.

За последние 20 лет в данном направлении наблюдается решающий прогресс. Благодаря важнейшим методическим открытиям последних лет, внедрению принципиально новых биотехнологий число картированных генов нарастает в геометрической прогрессии. Так, первый ген человека (ген цветной слепоты — дальтонизма) был картирован на X-хромосоме человека в 1911 г., а первый ген на аутосоме (неполовой хромосоме) — только в 1968 г.; к 1973 г. было картировано всего 64 гена, а к 1994 г. — более 5 тыс. структурных генов и около 60 тыс. маркерных ДНК последовательностей.

Последнее (11-е) издание энциклопедического каталога В.Мак-Кьюсика содержит информацию о 6678 картированных менделирующих локусах человека, из них 4458 — с аутосомно-доминантным характером наследования, 1730 — с аутосомно-рецессивным, 412 генов сцеплены с X-хромосомой, 19 — с Y-хромосомой и 59 находятся

в ДНК митохондрий⁵. Мутации многих из этих генов приводят к различным, зачастую весьма серьезным наследственным заболеваниям.

К 1994 г. картировано 933 гена, мутации которых приводят к различным наследственным заболеваниям; более 400 генов клонированы, т.е. выделены в чистом виде и размножены вне организма человека в составе ДНК фагов, вирусов, бактерий и дрожжей при помощи соответствующих биотехнологических приемов.

ПРИНЦИПЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Как известно, у человека в гаплоидном наборе, полученном с половой клеткой (гаметой) от каждого из родителей, присутствует 23 хромосомы, из них 22 — аутосомы, т.е. генетически равноценные хромосомы каждого из родителей и одна половая: либо X, определяющая развитие по женскому типу, либо Y, направляющая развитие зародыша человека по мужскому типу. Соответственно в каждой клетке, содержащей удвоенный (диглоидный) набор хромосом, у мальчиков набор половых хромосом XY, а у девочек — XX. К концу 1993 г. на всех хромосомах человека было картирова-

⁵ McKusick V.A. Mendelian Inheritance in Man. Catalogs of autosomal dominant, autosomal recessive and X-linked phenotypes. 11th edition. Johns Hopkins University Press. Baltimore; London, 1994.

Таблица 2

Известные и новые мутации гена муковисцидоза (апрель 1994 г.)

Название мутации	Экзон	Число изученных хромосом	Частота встречаемости	
			абс.	%
известные в Западной Европе и Северной Америке				
394delTT	3	144	3	2.1
R334W	7	452	5	1.1
R347P	7	452	1	0.2
1154insTC	7	322	—	—
delF508	10	1514	761	50.2
delF508*	10	673	167	25.0
delI507	10	1514	—	—
G542X	11	346	7	2.0
G551D	11	520	3	0.5
R553X	11	520	6	1.2
2143delT**	13	54	3	1.4
2184insA**	13	54	3	1.4
3732delA	19	160	3	4.3
W1282X	20	214	5	2.4
N1303K**	21	18	2	12.0
впервые идентифицированные в России				
552insA	4	112	1	0.8
1677delTA	10	1514	10	0.6
E504Q	10	1514	1	0.06
3821delT	10	?	1	—
S1196X	19	160	1	1.6
W1283R	20	214	2	0.8

* Тестирование по пятнам крови для уточнения диагноза.

** Предварительные данные.

но 576 генов, мутации которых ведут к наследственным заболеваниям; из них 112 располагались на X-хромосоме.

Сегодня картированы, идентифицированы и проклонированы гены всех наиболее частых моногенных болезней человека — таких как муковисцидоз, миодистрофия Дюшенна, гемофилии А и В, фенилкетонурия, синдром ломкой X-хромосомы и многие другие, на долю которых приходится более половины всей наследственной патологии. Как же проводится молекулярная диагностика этих заболеваний и зачем она нужна, если многие из них выявляются с помощью других лабораторных и клинических методов?

Главное преимущество молекулярной диагностики состоит в том, что объектом исследования служит непосредственно молекула ДНК больного. Это означает, что метод эффективен не только на тех тканях, где экспрессируется соответствующий ген, а на любых клетках организма, из которых можно выделить ДНК.

Второе важное достоинство метода заключается в том, что он работает на любой стадии развития организма, а отнюдь не тогда, когда формируется соответствующий орган, ткань или система, где экспрессируется мутантный ген. Следовательно, вполне реальной становится досимптоматическая диагностика многих наследственных заболеваний, в том числе и пренатальная, т.е. внутриутробная.

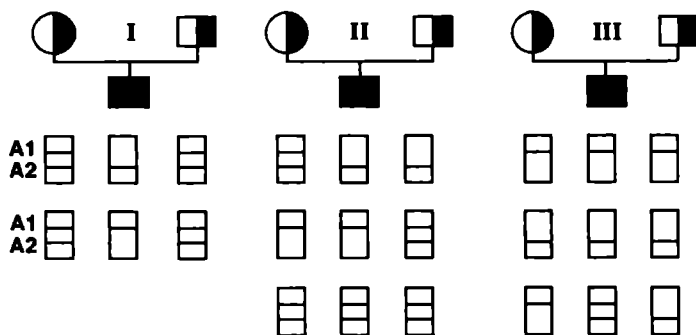
И наконец, только молекулярные методы позволяют выявить гетерозиготное носительство мутации, что крайне существенно для правильной организации профилактики рождения больных детей в семьях высокого риска. Последнее особенно актуально для X-сцепленных заболеваний (гемофилии, миодистрофии Дюшенна и др.), которые в силу генетической структуры гоносом (X- и Y-хромосом) поражают почти исключительно мальчиков.

Основные подходы и методы молекулярной диагностики наследственных болезней подробно рассмотрены в подготовленной нами монографии «Введение в молекулярную диагностику и генотерапию наследственных заболеваний» (в печати). Принципиально различают прямую и непрямую ДНК-диагностику наследственных болезней.

В случае **прямой диагностики** исследуется сам ген, точнее его мутации, определение которых и составляет основную задачу анализа. Такой подход эффективен при наличии точной информации о природе, частоте и локализации наиболее частых (мажорных) мутаций соответствующего гена, либо о присутствии в нем легко мутирующих «горячих» точек.

К сожалению, прямая диагностика пока применяется только для сравни-

Родословные (вверху) и схемы электрофореграмм фрагментов ДНК, полученные методом анализа полиморфизма длины рестрикционных фрагментов. I — полностью информативные, II — частично информативные, III — неинформативные семьи для ДНК-диагностики непрямым методом.



тельно небольшого числа генных болезней (муковисцидоза, миодистрофии Дюшенна, некоторых гемоглобинопатий, фенилкетонурии), молекулярная природа которых хорошо изучена и для которых разработаны эффективные молекулярные методы определения мутаций. В ряде случаев (муковисцидоз, фенилкетонурия) эти методы удалось автоматизировать, что позволяет одновременно и независимо тестировать сразу несколько (до 30) различных мутаций. При этом появляется реальная возможность выявлять до 95—98% всех мутантных хромосом, что делает целесообразным и экономически оправданным обследование популяций отдельных стран для организации эффективной профилактики рождения больных детей. Подобные программы по муковисцидозу уже начаты в ряде стран Западной Европы (в Великобритании, Дании, Франции) и Северной Америки.

Решающее преимущество прямого метода — высокая (практически 100%) точность диагностики и отсутствие необходимости анализа всей семьи на предмет ее информативности. Последнее обстоятельство особенно важно в случае пренатальной диагностики тяжелых, зачастую смертельных заболеваний, когда нередко родители обращаются за помощью уже после того как умер больной ребенок. Так, в России до 80% семей с высоким риском муковисцидоза в потомстве обращаются по поводу необходимости дородовой диагностики уже после смерти больного ребенка.

Непрямая ДНК-диагностика —

исторически более старый метод. Он подкупает своей универсальностью и потому широко применяется до настоящего времени для диагностики даже тех заболеваний, гены которых еще не идентифицированы и мутации неизвестны. Единственное и неперемное условие метода — наличие молекулярных маркеров, расположенных в непосредственной близости от мутантного гена или внутри него.

Что такое молекулярное маркирование? Суть дела в том, что в ДНК человека, особенно в ее «мусорной» части, составляющей до 90% ДНК клетки, зачастую возникают случайные (спонтанные) мутации, которые никак не сказываются на структуре и функции белка. Они могут заключаться либо в замене отдельных нуклеотидов, либо в изменении их числа в определенных участках генома, обычно в районах, богатых ди-, три- и тетра-нуклеотидными повторами (районы микросателлитной ДНК).

Кроме того, в силу вырожденности генетического кода (одна аминокислота кодируется более чем одним нуклеотидным триплетом) замены нуклеотидов могут происходить и оставаться незамеченными и в смысловой части ДНК, т.е. в экзонах структурных генов. Такие спонтанные замены, никак не отражающиеся на синтезе соответствующего белка и его функциях, можно уловить при помощи особых ферментов — эндонуклеаз (рестриктаз).

Эти ферменты специфически узнают строго определенные короткие нуклеотидные последовательности ге-

номной ДНК (обычно 4—5 нуклеотидов) и разрезают ее именно в этих местах (сайтах). В зависимости от того, будет или не будет определенная рестриктаза узнавать определенный сайт, мы увидим либо целый, неповрежденный фрагмент ДНК, либо соответствующий участок ДНК, который представлен двумя фрагментами, равными по величине исходному участку. Отсюда и название метода — метод анализа полиморфизма длины рестрикционных фрагментов, или ПДРФ анализ.

Метод получил широкое применение в молекулярной генетике для маркирования определенных участков ДНК, либо целых генов. Его популярность отчасти вызвана тем, что спонтанные замены нуклеотидов в геноме встречаются достаточно часто, в среднем через каждые 500—1000 пар оснований. Как показывают многочисленные исследования, число хромосом в популяции, несущих чувствительные или нечувствительные к определенной рестриктазе сайты ДНК, существенно меняется. Если представить себе, что у одного индивидуума хромосома с мутантным геном имеет сайт рестрикции внутри гена или в непосредственной близости от него (в этом случае сайт всегда наследуется вместе с мутацией, а другая гомологичная хромосома с неповрежденным геном от второго родителя не содержит того же сайта рестрикции), то мутантная хромосома маркирована по данному сайту. Следовательно, ее передачу, а соответственно и наследование мутации можно легко проследить методом ПДРФ анализа у родственников и у потомков этого индивидуума, информативного по данному сайту. Информативными для ДНК-диагностики непрямым методом считаются семьи, где оба родителя больного ребенка гетерозиготны по соответствующему ПДРФ сайту.

Нельзя, однако, не обратить внимания, что информативность такой двухаллельной системы типа «да—нет» сравнительно невелика, так как даже при самом благоприятном варианте уровень гетерозиготности в популяции

для одного сайта не выше 50%. В реальной жизни при отсутствии гетерозиготности по одному сцепленному с болезнью полиморфному сайту исследуют другой сцепленный полиморфный ген, и так до тех пор, пока не находят такой полиморфизм, где нормальный и мутантный гены сцеплены с разными аллельными вариантами. Если такая гетерозиготность определяется для обоих родителей больного ребенка, семья считается полностью информативной, если только для одного из родителей — семья частично информативна, а если в редких случаях методом ПДРФ анализа ни одним из тестируемых полиморфизмов не удается маркировать мутантный ген, семья считается неинформативной.

Более удобными молекулярными маркерами оказались полиморфные сайты с варьирующим числом ди-, три- и тетрануклеотидных повторов (количественный полиморфизм). Число их в геноме человека достигает 30—40 тыс., т.е. они идентифицируются в среднем через каждые 1000—1500 нуклеотидов. Разработаны быстрые и удобные методы их определения. Популяционная гетерозиготность большинства из них превышает 50%, а многих достигает 80—90%. Благодаря столь высокому полиморфизму эти молекулярные маркеры, представляющие по сути варьирующие по длине короткие tandemные повторы (short tandem repeats — STR), широко используют не только для диагностики наследственных болезней, но и в картировании генов, популяционной генетике, в геномной дактилоскопии (ДНК-финггерпринт). И это понятно. Наличие даже одного высокополиморфного гена с 10—15 аллельными вариантами внутри исследуемого гена или рядом с ним позволяет очень точно пометить мутацию и проследить ее передачу в потомстве.

Метод непрямой ДНК-диагностики более универсален, чем прямой. Серьезным недостатком этого подхода является необходимость наличия в семье больного ребенка (пробанда), анализ ДНК которого и позволяет

установить, с каким именно молекулярным маркером каждой хромосомы родителей сцеплен мутантный ген.

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ МОНОГЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Итак, молекулярная диагностика применима для любого наследственного заболевания, у которого точно картирован ген, установлены полиморфные сайты и выявлены мажорные мутации. Число таких болезней в настоящее время уже приближается к 1000 и продолжает стремительно нарастать по мере открытия новых генов, выяснения особенностей их молекулярной структуры, идентификации характерных мутаций.

Вместе с тем, следует обратить внимание на два существенных обстоятельства, которые необходимо учитывать при разработке методических подходов к молекулярной диагностике конкретного заболевания (нозологии) в конкретной популяции: популяционные особенности молекулярной структуры генома и тесно связанная с ней генетическая гетерогенность наследственных болезней.

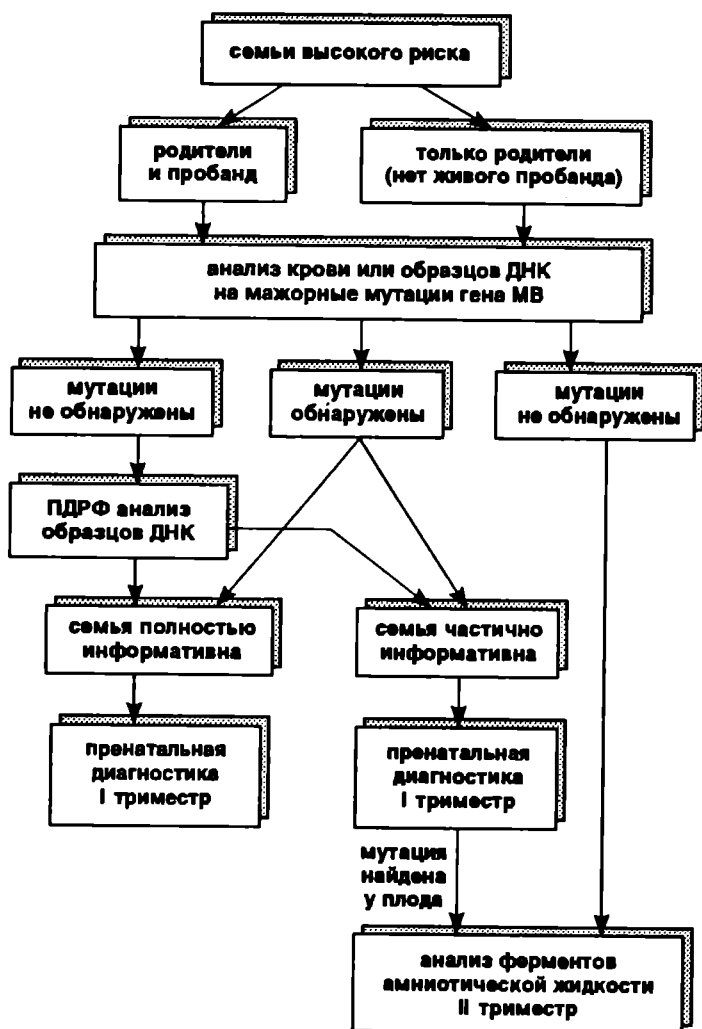
Многочисленные молекулярные исследования свидетельствуют о существенных популяционных, этнических и национальных особенностях структуры ДНК. Последние касаются прежде всего легко варьирующих областей генома. При этом характерные популяционные особенности включают в себя как колебания частот различных одно-типных аллелей, так и появление в тех или иных популяциях новых, существенных только им аллельных вариантов. Иными словами, уже сейчас каждую популяцию, этническую группу, нацию и расу можно описать своим, типичным только для нее спектром аллельного полиморфизма. Такие различия легко улавливаются не только на целом геноме, но и на отдельных ДНК-локусах и даже индивидуальных генах. Эти молекулярные менделирующие признаки находят широкое применение в исследованиях по популяцион-

ной генетике, в частности при анализе происхождения, расселения, миграции и генетического родства различных этнических групп и популяций. Естественно, что при разработке стратегии методов непрямой молекулярной диагностики наследственных болезней эти популяционные особенности спектра ДНК-аллелей также необходимо учитывать.

Таким образом, внедрению методов молекулярной диагностики должны предшествовать исследования особенностей полиморфизма соответствующих ДНК-сайтов, сцепленных или находящихся внутри пораженного гена.

Второе важное обстоятельство — генетическая гетерогенность наследственных заболеваний. Отчасти она объясняется тем, что один и тот же биохимический дефект в клетке может быть обусловлен мутациями разных генов. Другая ее причина — существенные различия в спектре мутаций одного и того же гена. В этой связи уместно отметить два немаловажных обстоятельства. Во-первых, изучение разных мутантных генов четко показало, что для каждого гена характерен свой тип и спектр мутаций. Так, для гена муковисцидоза, талассемии, фенилкетонурии и других — это точечные мутации с заменой единичных нуклеотидов; для генов гемофилии А, адреногенитального синдрома — крупные инверсии (перестановки); для гена миодистрофии Дюшенна — делеции (выпадения); для генов большой группы нейродегенеративных заболеваний (например, хореи Гентингтона) — это увеличение числа (экспансия) тринуклеотидных повторов. По-видимому, преобладание какого-либо типа мутаций отражает уникальность внутренней молекулярной структуры каждого гена. Во-вторых, подобно межпопуляционной изменчивости спектра аллелей полиморфных генов, для каждого мутантного гена в каждой изученной популяции характерен свой спектр мутаций. Наблюдаемые межпопуляционные различия касаются как частот определенных мутаций, так и появления эндемичных мутаций, т.е. мутаций, характерных

Принципиальная стратегия пренатальной диагностики муковисцидоза в России. По этой схеме мы провели 285 пренатальных анализов этого заболевания.



только для определенной этнической группы или определенного географического ареала. Например, мутация 1677delTA гена муковисцидоза, обнаруженная нами у грузин (мегрелов), оказалась типичной для жителей Причерноморского бассейна. Следовательно, оптимизация схемы молекулярной диагностики того или иного заболевания предусматривает анализ частот и спектра мутаций соответствующего гена у больных и в семьях высокого риска той или иной популяции.

Из более 900 наследственных заболеваний, для которых уже разработаны методы молекулярной диагнос-

тики, в России диагностируется только около 20 (табл.1)⁶.

Как уже указывалось, поиски оптимальных подходов к молекулярной диагностике и прямыми, и непрямими методами требуют как соответствующего популяционного анализа полиморфных сайтов, так и спектра мутаций соответствующего гена у больных с данной нозологией. Проиллюстрируем это положение на примере двух наиболее частых наследственных заболеваний — муковисцидоза и миодис-

⁶ Баранов В.С. // Международные медицинские обзоры. 1994. Т.2. №4. С.236.

трофии Дюшенна, молекулярная диагностика которых в России проводится уже много лет.

Муковисцидоз — тяжелое и самое распространенное среди представителей белой расы аутосомно-рецессивное заболевание. Ген картирован в 1985 г. на хромосоме 7(7q21—31.1), идентифицирован в конце 1989 г. и секвенирован в 1991 г. Всего к декабрю 1993 г. были исследованы популяционные частоты 14 известных мутаций этого гена, которые достоверно отличаются от таковых в Западной Европе и Америке. В России идентифицированы шесть новых, ранее неизвестных мутаций этого гена (табл.2). В настоящее время доступны идентификации около 65—70% хромосом больных муковисцидозом, т.е. ДНК-диагностика прямым методом возможна примерно у 60% семей высокого риска⁷. В семьях, где не удается обнаружить мутации, применяется непрямая ДНК-диагностика. В качестве молекулярных маркеров используют полиморфные сайты внутри самого гена (STR в интронах 6,8 и 17b).

В результате детального анализа спектра мутаций и особенностей полиморфизма ДНК сайтов гена муковисцидоза была разработана оптимальная для жителей России и некоторых стран СНГ схема обследования семей с высоким риском, подверженных этому смертельному заболеванию.

Миодистрофия Дюшенна — тяжелое X-сцепленное наследственное заболевание, которое встречается с частотой 1:3500 новорожденных мальчиков. Ген картирован в области Xp21 и детально изучен. Диагностируется как прямым, так и косвенным методом. Прямой метод основан на том, что примерно 65% мутаций гена представляют собой делеции одного или нескольких соседних экзонов, расположенных в двух «горячих» районах гена. Они эффективно выявляются методом мультиплексной полимеразной цепной реакции синтеза ДНК, который позво-

ляет одновременно тестировать 6—9 экзонов в часто мутирующих точках гена. Наши данные свидетельствуют о возможных популяционных особенностях частоты и распределения делеций в гене дистрофина⁸.

Непрямая диагностика основана на исследовании аллельного полиморфизма ДНК сайтов pERT 87-15/Taq1, pERT 87-8/Taq1, p20/Msp1, XJ1.1/Taq1, а в последнее время и динуклеотидных CA повторов.

Таким образом, в гене миодистрофии Дюшенна в отличие от гена муковисцидоза преобладают мутации типа протяженных делеций, многие из которых возникают спонтанно (мутации *de novo* в гене муковисцидоза не зарегистрированы). Учитывая эти особенности, а также различия в размерах генов и их локализации, стратегию в молекулярной диагностике этих заболеваний существенно различают.

Исследования по Международной программе «Геном человека» стремительно набирают скорость. Уже сейчас представляется вполне реальным, что работа, касающаяся секвенирования всего генома человека, будет выполнена. Наряду с важностью полученной информации для решения фундаментальных проблем современного естествознания (таких как происхождение жизни, эволюция живой природы, реализация индивидуального развития — онтогенеза) исследования по данной программе весьма существенны для медицинской генетики и генотерапии. Благодаря успехам картирования и идентификации новых генов открываются широкие возможности в диагностике, профилактике и лечении многочисленных наследственных заболеваний. Уже разработаны и активно используются на практике эффективные методы молекулярной диагностики наследственных болезней на ранних и

⁷ Baranov V.S., Gorbunova V.N., Ivaschenko T.E. et al. // *Prenat. Diagnosis*. 1991. V.12. P.127.

⁸ Baranov V.S., Gorbunova V.N., Malysheva O.V., Artemyeva O. et al. // *Prenat. Diagnosis*. 1992. V.13. P.323.

пренатальных стадиях развития человека. Изучены популяционные особенности и спектры мутаций многих генов, нарушения которых ведут к тяжелой инвалидизации и смерти. Несколько десятков наиболее частых и тяжелых моногенных наследственных болезней доступны для ДНК-диагностики в России.

Наряду с моногенными наследственными заболеваниями, для которых проблема молекулярной диагностики уже реализована, особенно перспективно изучение молекулярной природы полигенных и мультифакториальных заболеваний — таких как опухоли, гипертония, атеросклероз, ишемия сердца. В последние годы благодаря успехам молекулярной генетики и в этой области достигнуты серьезные успехи. В частности, идентифицированы и изучены гены, ответственные за многие онкологические заболевания (например, рак молочной железы,

аденополипоз толстого кишечника), сахарный диабет, гиперхолестеринемию и др. Такие исследования ведутся и в ряде научных центров России.

В настоящее время наметился реальный прогресс в области молекулярно-генетических исследований наследственных заболеваний в нашей стране по сравнению с 1987 г., когда такие работы только начинались⁹. Дальнейший рост числа наследственных болезней, доступных эффективной диагностике, разработка более тонких методов пренатальной диагностики в сочетании с эффективно действующей медико-генетической службой — все это говорит о том, что молекулярная биология и медицинская генетика оказывают большую практическую помощь здравоохранению в борьбе с тяжелыми наследственными недугами.

⁹ Баранов В.С. // Вестн. АМН СССР. 1987. № 4. С.44.

КОРОТКО

Несколько лет назад ВОЗ объявил 1 декабря Мировым днем борьбы со СПИДом. В 1995 г. он прошел под лозунгом: «Равные права, равные обязанности». В 1996 г. глобальная программа ВОЗ по борьбе со СПИДом (Global Program on AIDS — GPA) объединит усилия не только специалистов ВОЗ, но и пяти других международных учреждений, действующих в рамках ООН, — Детского фонда, Программы развития, Организации по образованию, науке и культуре, Фонда по народонаселению и Мирового банка.

World Health Organization. Press Release. 1995. № 85 (Швейцария).

Вирусы герпеса (простой — *Herpes simplex* и опоясывающий — *H.zoster*) вызывают конъюнктивит, язвенный стоматит, энцефалит, опоясывающий лишай и др. Заболеваемость герпетическими инфекциями достигает 83—480 случаев на 100 тыс. населения, а инфицированность приближается во всем мире к 80—90%. Наиболее распространенная форма — опоясывающий герпес. Особую проблему в лечении создает способность вирусов герпеса пожизненно персистировать в организме человека, в частности в клетках нервной системы. Ограниченный выбор этиотропных виростатиков — еще одна проблема.

Разработанный польской фармацевтической фирмой «Полфа» новый препарат гроприносин благодаря своим иммуностимулирующим и антивирусным свойствам сокращает курс лечения больных опоясывающим лишаем и улучшает показатели иммунитета.

Новости фармации и медицины. 1995. № 4—5. С.112—116 (Польша).

Листорасположение и числа Фибоначчи

Д. Л. Вейзе
Москва

ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ

«Если спросят, почему у всех деревьев и кустарников или по крайней мере у большинства из них цветы, распускаясь, приобретают пятиугольную форму, то есть имеют по пяти лепестков... то я отвечу, что здесь рассуждения о красоте и свойствах фигуры, в которых проявляется душа растения, были бы вполне уместны... Построение пятиугольника невозможно без той пропорции, которую современные математики называют божественной. Устроена она так, что два младших члена этой нескончаемой пропорции в сумме дают следующий член, причем та же пропорция сохраняется до бесконечности»¹.

Так писал в 1611 г. И.Кеплер в своей миниатюре-шутке, и он был, по-видимому, первый, кто обратил внимание на связь листорасположения с золотой пропорцией.

Знаменитый ряд чисел, начинающийся с двух неравных, по замечанию Кеплера, единиц, назван в честь описавшего его итальянского математика Леонардо из Пизы, более известного как Фибоначчи (сын Боначчо).

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ...

Поразителен тот факт, что количество спиралей, которые можно мысленно провести через ряды листьев, почек на ветках, бутонов и цветков в соцветиях, чешуек в шишках, часто оказывается числом Фибоначчи.

Предпринимались неоднократные попытки объяснить феномен «фибоначчизма» растений. Так, в конце прошло-

го века немецкий ботаник Ф.Людвиг применил статистический метод. Изучению вопросов листорасположения посвятили свои труды многие ученые: Ш.Бонне (1754), А. фон Браун, Ц.Ф.Шимпер, братья Л.Ф. и А.Браве (1830-е годы), С.Швенденер (1878), Л.Плантефоль (1946—1948), Ю.А.Урманцев (публикации с 1963 г.), Л.В.Белоусов (1976), Х.Мейнхард (1978), С.В.Петухов (1988)². Если не рассматривать объяснения листорасположения просто оптимальностью для дыхания и освещения листьев, то суть известных по литературе предположений сводится к следующему:

— упорядоченность структуры обусловлена механическим давлением листовых бугорков в почечной верхушке;

— листовой бугорок выделяет ингибитор, очерчивающий зону запрета роста для других бугорков;

— листовые отростки в побеге взаимно влияют друг на друга на расстоянии;

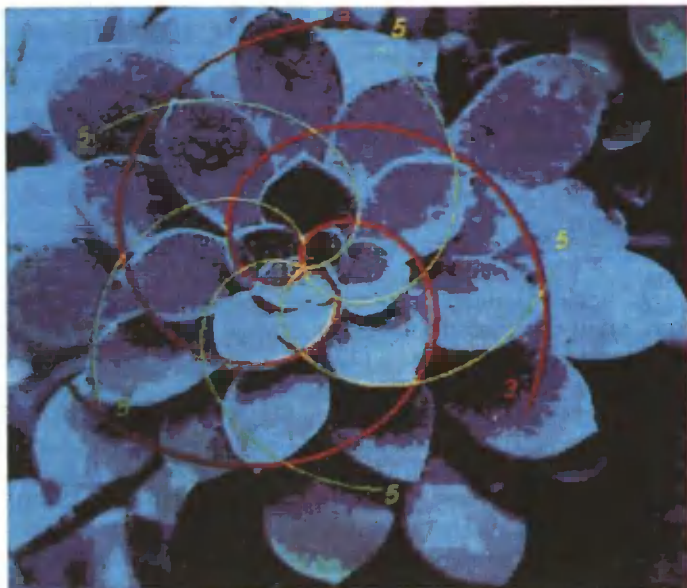
— растения подчинены внутренней квантованности роста, т.е. побег растет скачками.

Ученые сходятся во мнении, что закономерности формирования листорасположения еще не поняты. Существующим гипотезам вменяется в вину

² См. например: Бекетов А.Н. Листорасположение // Энциклопедический словарь. Издатель Ф.А.Брокгауз и А.Ефрон. Т.34 (XVIA). СПб., 1896. С.751—753; Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии. М., 1974; Белоусов Л.В. Онтогенетическая модель рядов Фибоначчи в апикальных меристемах растений // Журн. общ. биологии. 1976. Т.37. № 6. С.900—911; Зегенбуш П. Молекулярная и клеточная биология. М., 1982. С.178—188; Петухов С.В. Биомеханика, бионика, симметрия. М., 1981; Васютинский Н. А. Золотая пропорция. М., 1990; Вульф Г.В. Есть ли что-либо общее у кристаллов и растений? // Природа. 1912. Янв. С.35—58.

© Вейзе Д.Л. Листорасположение и числа Фибоначчи.

¹ Кеплер И. О шестиугольных снежинках. М., 1982. С.16—17.



Спиральное расположение листьев на многих растениях обнаруживает связь с рядом чисел Фибоначчи. У зоннума легко просматриваются два набора противоположно закрученных спиралей, а числа спиралей в них — 3 и 5 — соседние в ряду Фибоначчи.

то, что они кладут в основу объяснения заведомо узкие посылки, не способные охватить все многообразие этого явления природы. Высказывается даже предположение, что разгадка кроется в существовании общих законов развития в особом биологическом пространстве.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ЛИСТЬЕВ

Из курса ботаники известно, что почка — зачаточный, не развившийся побег. Внутри почки заключена верхушка побега, или апекс. Основная часть его представляет собой конус нарастания, за счет развития которого формируются все ткани и части побега. Поэтому неважно, идет ли в дальнейшем речь о расположении листовых бугорков, боковых отростков, листьев, чешуек в шишках, семечек в соплодии подсолнуха или бутонов и цветков в соцветии астры. Появление зачаточных листьев в известной степени определяет характер листорасположения взрослого побега: спиральное, или очередное, — от каждого узла стебля отходит один лист (дуб, береза, зонтичные, злаки и др.); супротивное — на каждом узле сидят друг против друга два листа (клен, сирень,

крапива), черешки которых располагаются в одной плоскости, проходящей через ось побега, и эта плоскость перпендикулярна плоскости предыдущей и последующей пары; мутовчатое — каждый узел несет три и более листьев (олеандр, элодея).

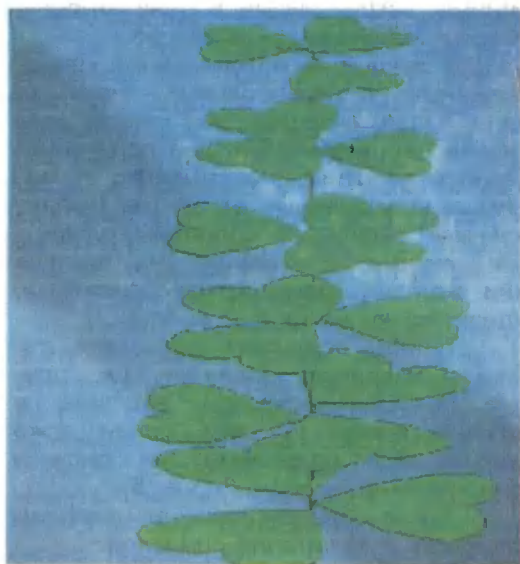
Общая закономерность всех типов листорасположения — равное угловое расстояние между листьями, сидящими на одном узле или на последовательных узлах так называемой основной генетической спирали — условной линии, которая соединяет основания листьев, расположенных друг за другом. Эти углы, именуемые углами дивергенции, легче увидеть при разглядывании побега (ветки, ростка) с его верхушки.

Угол дивергенции измеряется в плоскости, перпендикулярной продольной оси побега. В наиболее часто встречающемся случае вытянутого (в отличие от рассматриваемого ниже «плоского») побега мы имеем дело с проекцией направления роста листа или его аналога (почки, колючки, чешуйки и пр.) на указанную плоскость.

Ниже приведем рассуждения на примере очередного, или спирального, листорасположения. Забегая вперед, скажем, что супротивное и мутовчатое



Типы листорасположения. Слева — очередное листорасположение (на каждом узле сидит один лист); справа — супротивное (на узле сидят два листа); внизу — мутовчатое (от узла отходит более двух листьев).



листорасположения подчиняются тому же простому принципу, который можно сформулировать как движение в сторону наименьшего сопротивления.

Строго говоря, не делая «холостных» витков, через узлы на побеге можно провести две противоположно направленные спирали — левозакрученную и правозакрученную. Угол дивергенции второй спирали будет до-

полнять угол первой до круга (сумма углов составляет 2π), а их отношение оказывается золотой пропорцией.

Апексы некоторых растений не удлиняются при появлении новых боковых отростков, а раздвигаются в ширину. Примером может служить корзинка подсолнечника или ромашки, которую можно рассматривать как «плоский» побег. По мере удаления от центра корзинки возраст отростков увеличивается³. На это указывает и последовательность распускания и увядания цветков — от периферии к центру. Вместо пары генетических

³ Рейд Ф. Симметрия растений // Узоры симметрии. М., 1980. С.140—150.

спиралей, проходящих последовательно через все отростки, на «плоском» побеге зрительно проще выделить целый ряд спиралей, которые соединяют отростки, стоящие рядом, но не очередные по времени появления. Каждая из таких спиралей не проходит через все отростки, но набор спиралей захватывает их все. Этим легко видимых спиралей тоже два набора: лево- и правозакрученные.

И оказывается, что число первых спиралей на побеге стоит в ряду Фибоначчи рядом с числом вторых, например:

1 и 2, 2 и 3, 3 и 5,..., 13 и 21... и т.д.

У одних и тех же видов пары легко выделяемых глазом спиралей могут быть различными. На одном участке могут расти подсолнухи со всевозможными наборами спиралей: 21 и 34, 34 и 55, 55 и 89.

Редко отмечают, а это существенно, что количество различных спиралей представлено не парой наборов, но увеличивается от центра к периферии, оставаясь постоянным лишь в пределах концентрических кольцевых зон, которые не имеют четких границ и перекрывают одна другую. В разных зонах можно различить разное число спиралей, на одном соцветии выделяется практически весь ряд чисел Фибоначчи от начала до какого-то наибольшего в данном соцветии, скажем, до 55.

В паре наборов направление, в котором просматривается, например, большее количество спиралей, — не строго детерминированный признак. Под любой сосной или елью можно найти разные шишки: у одной — три спирали направлены вправо, а пять — влево, у другой — наоборот, пять правых спиралей и три левых. Эти шишки зеркально симметричны, как пара ботинок или перчаток. Принято говорить, что они энантиоморфны.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРЕДПОСЫЛКА

Будем сначала для простоты геометрической иллюстрации рассмат-

ривать «плоский» побег, например, соцветие подсолнечника или ромашки. Представить развитие побега поможет аналогия. Вы, вероятно, замечали в витринах магазинов концентрические прозрачные вращающиеся круги с нарисованными спиральями. Спирали вращаются, а от центра во все стороны разбегаются ячейки, образуемые их пересечениями. Теперь посмотрим на соцветие ромашки. Бутончики выстроены в загадочные спирали. Мы знаем, что в ходе развития соцветия бутончики сдвигаются от центра к периферии, значит, и спирали по мере роста растения вращаются в противоположных направлениях.

Как же появляется количество спиралей, задаваемое числом из ряда Фибоначчи?

Изобразим схему соцветия с небольшим числом спиралей: пятью синими, закрученными в одну сторону, и тремя зелеными — в другую.

В каждой из получившихся криволинейных четырехугольных ячеек (в зоне, примыкающей к центру, эти ячейки двухвершинные) две противоположные вершины, максимально и минимально удаленные от центра («радиальные» вершины), соединим плавными линиями. Эти линии (на рисунке они желтые) оказываются спиральями. Удивительно, но их 8, т.е. $5+3$.

Теперь соединим плавными линиями, например красными, две другие («концентрические») вершины в каждой ячейке. И эти линии тоже оказываются спиральями (на рисунке они красные), а их — 2, т.е. $5-3$.

Таким образом показан механизм сложения и вычитания спиралей.

В доступной литературе такой подход до сих пор не был описан. Не напоминает ли этот механизм некоторыми деталями сложение и вычитание векторов по правилу параллелограмма? Он является ключевым для понимания возникающих закономерностей. Его легко проверить для любого числа левых и правых спиралей, не обязательно взятого из ряда Фибоначчи. Разность двух наборов из равного числа спиралей даст концентрические кольца — нули.

СЛОЖЕНИЕ СПИРАЛЕЙ У РАСТЕНИЙ

Рассмотрим, как описанный механизм сложения спиралей работает на растущем вширь побеге. Представим себе отростки в виде кружков и будем проводить спирали через их центры.

При удалении отростков от центральной оси получается так, что диаметр реального отростка отстает от размера той гипотетической ячейки в нашей схеме, ширину которой определяет ее удаление от оси побега. Стоявшие сначала тесно отростки расходятся, а в образовавшийся промежуток встают идущие следом. Младший отросток внедряется по ходу своего движения в ставшую для старших слишком просторной ячейку.

Сзади идущий младший отросток, увеличиваясь в размере, догоняет старший, идущий впереди, и соприкасается с ним. Подчеркнем, что младший отросток смыкается со старшим не за счет различия в скорости движения (ее мы допускаем равной для всех отростков в любой момент времени), а за счет увеличения размеров обоих отростков. Между их центрами можно провести отрезок так же, как мы это делали при сложении спиралей, и эта операция позволит получить новый набор спиралей — сумму двух уже имевшихся.

Тесно стоящие отростки легко воспринимаются глазом как последовательность в форме спирали. Отростки спиралей с меньшими порядковыми номерами расходятся настолько, что спираль зрительно перестает восприниматься как единое целое и «исчезает». Поэтому приходится складывать числа только двух последних наборов спиралей, два последних члена числового ряда, который оказывается, как нетрудно видеть, последовательностью Фибоначчи.

Мы рассматриваем наборы спиралей, число элементов в которых соответствует числам Фибоначчи. Теоретически через бутоны в соцветии можно провести такие спирали, количество которых может быть выражено не только числами Фибоначчи, но и

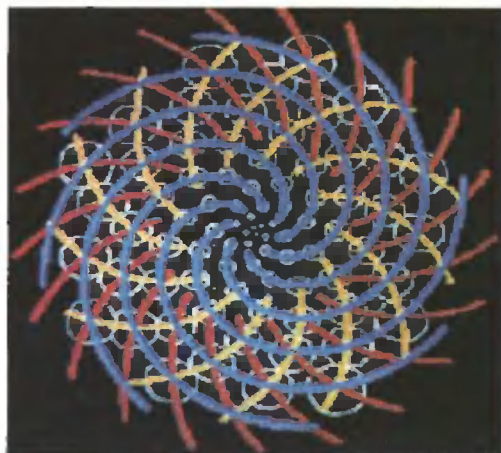
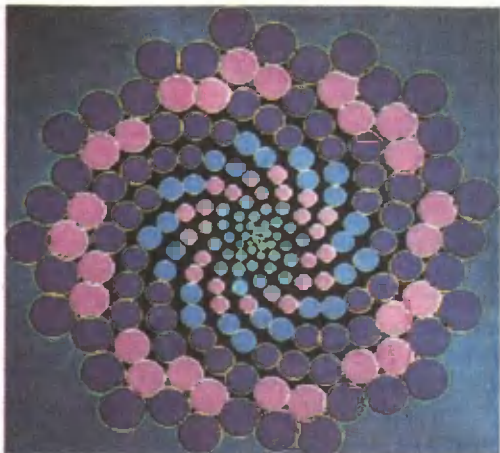
любыми разумно большими целыми числами. К этим спиральям также применимы операции сложения и вычитания, но уловить взглядом эти линии трудно из-за удаленности отростков друг от друга. Спираль, соответствующая числу 1 (точнее — две противоположно направленные спирали, соответствующие двум «неравным», по замечанию Кеплера, единицам в ряду Фибоначчи), является основной генетической спиралью для побега. Эта спираль проходит через все листовые отростки.

Таким построением в плоскости апекса и объясняется существование у растений шага дискретности, задаваемого рядом Фибоначчи. Чтобы реализовать это построение, достаточно иметь регулярное появление очередного отростка из одной точки — центра на плоскости и продвижение этого отростка на периферию с заданной скоростью по пути наименьшего сопротивления (в просвет между впереди идущими, так выбирают путь в толпе).

Стремление отношения количества спиралей в соседних наборах к золотой пропорции (свойство чисел Фибоначчи) однозначно влечет за собой стремление угла дивергенции к золотому сечению круга ($2\pi \cdot 0.618...$). (Уточним, что угол дивергенции — угол между направлениями расхождения из центра **ближайших по времени появления** отростков.) Эти параметры (число спиралей и угол) не могут рассматриваться отдельно, они связаны так же тесно, как количество цифр на циферблате и величина угла, описываемого маленькой стрелкой за час.

Если рассматривать соцветие как непрерывную среду, то для строгости следует сказать, что оно имеет не простую ось симметрии, а ось подобия, элементарный угол поворота вокруг которой может быть как рациональной, так и иррациональной долей полного поворота⁴. Для мира кристал-

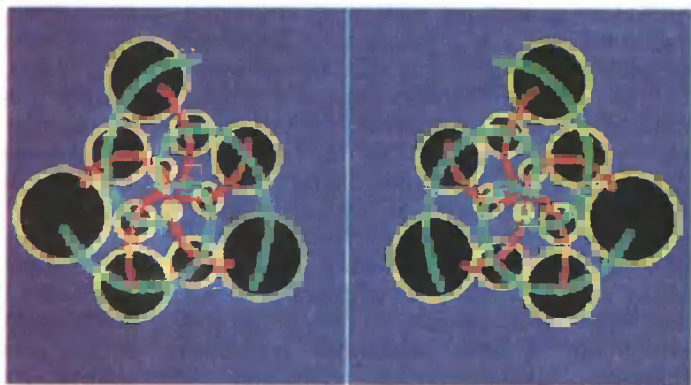
⁴ Шубников А.В. Симметрия подобия // Кристаллография. 1960. Т.5. Вып.4. С.489—496.



Апексы некоторых растений не удлиняются при появлении новых боковых отростков, а раздвигаются в ширину. Смена окраски кольцевых зон отражает разный возраст отростков в апексе — младшие в середине, старшие снаружи.

Часто на соцветии можно различить и не одну пару наборов спиралей. Количество развитых спиралей увеличивается от центра к периферии.

→
У спиральных форм существуют лево- и правовертящие варианты.



лов это — невозможное событие, а для органического мира — вполне допустимое! Тогда операцию симметрии, выполняющуюся при росте растения, можно рассматривать как периодическую функцию, период которой равен интервалу времени между появлениями очередных бутонов. Другими словами, плоское соцветие можно совместить само с собой поворотом вокруг своей центральной оси на угол, соответствующий золотому сечению круга. Чтобы получить вытянутый побег, в рамках такого рассмотрения необходимо применить еще и трансляцию вдоль оси на величину междоузлия.

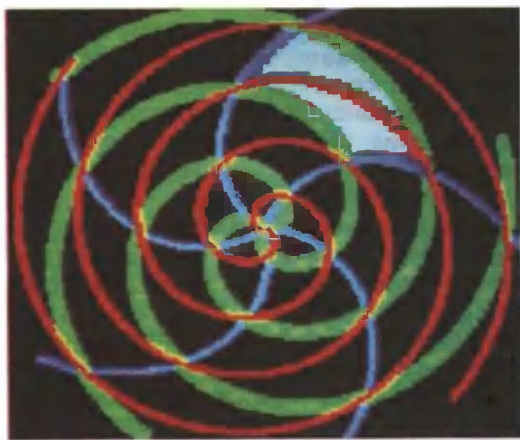
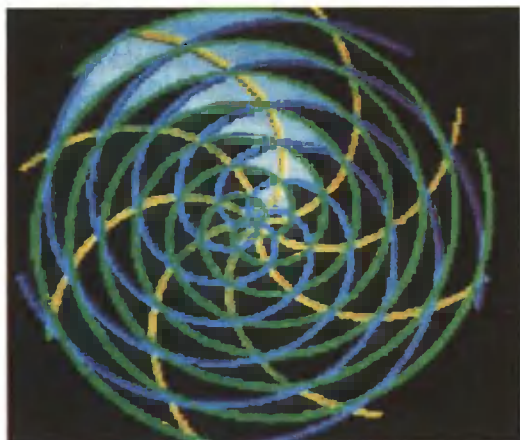
До настоящего времени общепринятым является мнение, что цветки в соцветии располагаются по логариф-

мическим спиральям⁵. На эту мысль наводит их широкое распространение в природе, например в раковинах моллюсков, рогах некоторых млекопитающих. Такие спирали с увеличением числа витков не меняют своей формы. О спиралях же в соцветиях этого сказать нельзя.

При принятых здесь допущениях (постоянный угол дивергенции за один шаг основной генетической спирали и равная для всех бутонов мгновенная скорость) положение любого бутона в нашей системе координат опишется уравнением архимедовой спирали⁶ с

⁵ Логарифмическая спираль — плоская кривая, задаваемая в полярных координатах уравнением $\rho = ae^{b\theta}$.

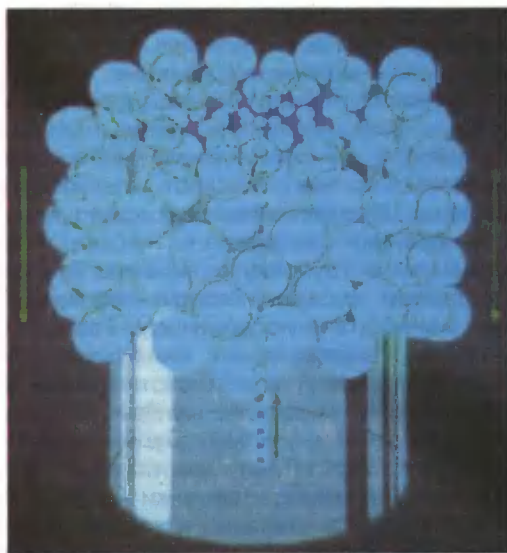
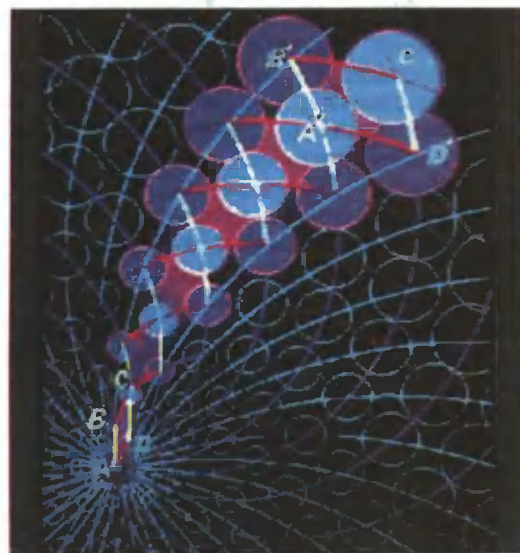
⁶ Спираль Архимеда — плоская кривая, задаваемая в полярных координатах уравнением $\rho = a\theta$.



Операции со спиральми: слева — сложение спиралей. Соединим «радиальные» точки пересечения синих и зеленых спиралей и получаем новый набор спиралей — желтый: $8 \text{ желтых} = 5 \text{ синих} + 3 \text{ зеленых}$; справа — вычитание спиралей. Теперь соединим «концентрические» точки пересечения и получим красный набор: $2 \text{ красных спиралей} = 5 \text{ синих} - 3 \text{ зеленых}$.

Разглядывая отростки последовательно от центра к периферии, можно проследить эволюцию их взаимного расположения. На ранних стадиях развития соцветия расположение отростков A' , B' , C' и D' было аналогично расположению отростков A , B , C и D . В центральной части соцветия отростки A и C разделены и зрительно не воспринимаются как члены одного ряда (одной спирали). На определенном расстоянии от центра они соприкоснутся. Ряд соприкасающихся отростков легко различим как спираль на соцветии. Отрезок $A'C'$ «на своем участке» в четырех-угольнике $A'B'C'D'$ выполняет операцию сложения желтой и красной спиралей.

Механическая модель листорасположения. Распределение всплывших пузырьков по поверхности и затем вдоль стенок цилиндра может служить аналогом для расположения растущих отростков побега.



тем условием, что полярный угол будет принимать значения, кратные золотому сечению круга. Формула архимедовой спирали легла в основу графических построений, выполненных на компьютере, для иллюстрации настоящей работы.

В реальном соцветии мы имеем дело не с точной величиной золотого сечения $\Phi=0.6180339\dots$, которая является пределом отношения соседних чисел в ряду Фибоначчи, а с самим отношением. Таким образом, если можно так сказать, спирали, по которым выстраиваются отростки, архимедовыми являются в своем пределе.

МЕХАНИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИСТО- РАСПОЛОЖЕНИЯ

Проведем мысленный эксперимент. Представим много мелких одинаковых шариков равной массы, похожих на мыльные пузыри, изготовленных из достаточно прочного материала, чтобы они не лопались и не сливались. Сила трения у них столь же мала, как и у мыльных пузырей. Они могут раздуваться по мере удаления от точки их появления на поверхности жидкости, заполняя свободные промежутки. Все шарики изначально плотно упакованы в длинную узкую трубочку. Каждый пузырек закреплен на тонкой нитевидной резинке, подобно детскому воздушному шарiku на нитке. Все резинки очень слабо натянуты в одном направлении внутри трубочки и не мешают движению шариков. Противоположный конец каждой резинки закреплен на поршне, входящем в трубочку с нижнего конца. Очередная резинка короче предыдущей на постоянную величину. Трубочка целиком вертикально погружена в воду. Свободный конец ее подходит к поверхности воды в центре сосуда цилиндрической формы. Будем постепенно выталкивать пузыри поршнем из трубки. Натяжение резинки не даст пузырю уплыть далеко, а вновь появляющиеся пузыри не позволят ему

возвратиться к трубке. Предполагается, что пузыри образуют однослойную плотную пену.

Взаимно оттесняя друг друга, пузыри в поиске оптимальной упаковки вычертят узор, аналогичный узору листовых отростков на побеге, в количественном отношении описываемому рядом Фибоначчи.

В рамках этой модели мы сможем представить и образование вытянутого побега, а не только плоского соцветия.

Вообразим, что сосуд наполнен доверху, тогда пена, достигнув края, начнет стекать по стенкам цилиндра, подобно убегающему на огне молоку. Действием собственного веса пузыри будут растягивать резинки вдоль оси сосуда. Между ними появятся свободные промежутки. Требование плотности упаковки пузырей, дошедших до края сосуда, перестанет выполняться.

На боковой поверхности сосуда появится орнамент, принципиально идентичный листорасположению на вытянутом побеге. Иначе говоря, мы перешли от полярной системы координат к цилиндрической. Когда пузыри перевалятся через край, увеличение радиуса уплощенного побега прекратится, и сползание пузыря по стенке будет соответствовать росту побега в длину.

Меняя диаметр цилиндра, мы можем менять число спиралей на боковых стенках. Если взять достаточно узкий цилиндр (пузырьки сбегая по стенкам вниз, едва появляется на поверхности следующая их порция) и произвольно менять количество трубочек, то можно выбирать тип листорасположения. При наличии двух внутренних трубочек получим $\sim$ супротивное листорасположение, а трех и более — мутовчатое. Необходимо только заботиться о синхронном появлении пузырьков.

Изменяя вес шариков, мы достигнем различного натяжения резинок, что аналогично изменению длины междоузлий на побеге. Взяв вместо цилиндра конусообразную колбу, мы

получим модель шишки, шарообразный сосуд смоделирует соплодие лопуха, одуванчика и т. д.

У большинства растений апекс, по-видимому, уплощен. Листовые отростки из стремления к плотности упаковки вынуждены выстроиться под углом дивергенции, близким к золотому сечению круга, и уже после этого побег вытягивается в длину, зафиксировав полученные ранее углы.

Различия в углах дивергенции у растений с очередным листорасположением можно объяснить различным отношением скорости роста по радиусу апекса к скорости роста по оси побега. Чем это отношение больше, тем ближе угол дивергенции к золотому сечению круга.

Из соображений плотности упаковки в апексе (без пробелов и наслоений) становится понятной и рациональность листорасположения на взрослом растении, когда листья «стаются» не затенять друг друга.

Необходимое условие роста числа спиралей в нашей модели — увеличение радиуса побега (плоского, цилиндрического, иного — не суть важно) без увеличения в размерах элементов структуры (листовых отростков, бутонов и т. д.), пропорционально радиусу.

Верно и обратное утверждение: уменьшение радиуса ведет к уменьшению количества спиралей. Рассмотрим сосновую шишку. При продвижении от верхушки к средней ее части радиус шишки увеличивается, при этом увеличивается количество спиралей. У основания шишки радиус опять уменьшается, а с ним — и количество спиралей. Внешне схема рисунка осталась прежней, но возрастной ранжир чешуек перевернулся. Теперь самые старые остались в центре, а молодые разместились снаружи.

Определяющую роль в изменении числа спиралей играет угол дивергенции. В связи с этим можно упомянуть важную теорему Якоби⁷ о распределе-

нии точек окружности при перемещении каждой последующей точки на постоянный угол. Из нее следует, что при соизмеримости радианной меры этого угла с числом π точки выстраиваются в ритмический рисунок. Подобная соизмеримость у растений выражается в появлении вертикальных рядов листьев на побеге. У кактусов с вертикальными рядами колючек отношение угла дивергенции к π выражается дробью, числитель и знаменатель которой — небольшие числа, а у подсолнуха со спиральным рисунком корзинки это отношение выражается дробью с большими числителем и знаменателем, и «вертикальные» (в данном случае — радиальные) ряды не просматриваются.

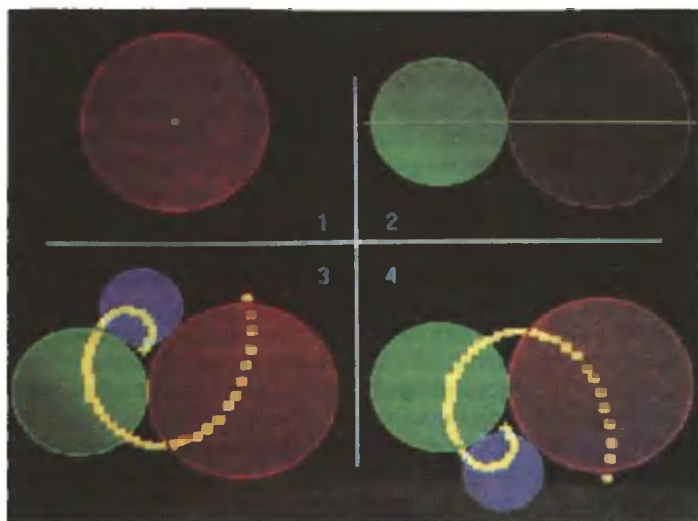
СИММЕТРИЮ ОПРЕДЕЛЯЕТ ТРЕТИЙ ОТРОСТОК

От чего зависит направленность закручивания спиралей? Для ответа представим развитие апекса с самого начала.

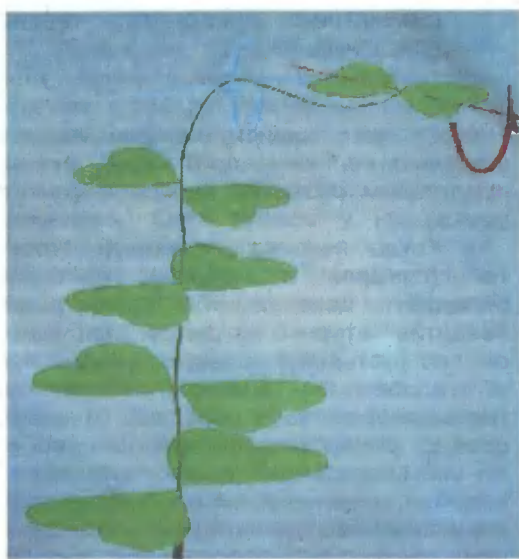
Когда появляется первый отросток (пузырек в модели), растение обладает центральной симметрией. Развитие второго отростка нарушает ее, но оставляет осевую симметрию в плоскости апекса. Появление третьего листового отростка отменяет осевую симметрию и приводит побег к упоминавшейся выше симметрии подобия, элементы которой складываются из последовательно проведенных поворотов материальной фигуры вокруг фиксированной оси на некоторый угол и переноса фигуры в направлении от (или к) оси с одновременным изменением ее размера в определенное число раз. Симметрия подобия была предложена в 1960 г. А.В.Шубниковым для описания пространственных закономерностей органического мира.

Представляется, что существование лево- и правовращающих вариантов побегов (энантиоморфных форм) определяется в момент появления

⁷ Гальперин Г.А., Земляков А.Н. Математические бильярды. М., 1990. С.31.



Эволюция симметрии побега. Побег с одним отростком имеет центральную симметрию, с двумя — осевую, а с тремя — симметрию подобия. Направление вращения спиралей определяется положением третьего (синего) отростка в апексе.



Ориентация в одной плоскости пластинок супротивных листьев может осуществляться за счет перекручивания побега и черешка вокруг своих осей и изгибания самих черешков, но не за счет смены тила листорасположения. «Перистосложные» побеги запрещены.

третьего отростка, когда осевая симметрия исчезает. Проведем ось симметрии через центры двух первых отростков. Третий отросток может встать как с одной, так и с другой стороны от оси. Решение дилеммы и закрепит в дальнейшем за каждым набором спиралей свое направление. Выбор положения для третьего отростка, по-видимому, случаен и зависит от внешних факторов, скажем, от неравномерного нагрева почки со-

лицем. Уместным будет вспомнить теорему П.Кюри (1894), которая гласит: если какие-нибудь явления проявляют диссимметрию, то та же диссимметрия должна существовать в причинах, которые эту диссимметрию вызвали.

Иная картина складывается при развитии супротивного листорасположения. Первые два одновременно возникших отростка лежат на оси произвольного направления в плоскос-

ти апекса. Вторая пара, выбирая для роста наиболее просторное место, встает перпендикулярно оси первой пары отростков. По мере роста побега в длину пары отростков встают поочередно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Осевая симметрия сохраняется, аналогично она сохраняется и при мутовчатом листорасположении.

В ЛИСТОРАСПОЛОЖЕНИИ СУЩЕСТВУЮТ ЗАПРЕТЫ

Спирали — очень удобная модель для описания листорасположения. Получить же на спиральях внешне простую схему супротивного листорасположения в **одной** плоскости (в этой плоскости лежит ось побега) не удается.

Схема такого расположения на первый взгляд кажется естественной. В составе перистосложных листьев (акация, рябина) так располагаются листочки. Но отдельный лист — не побег, у него свои законы. В природе (возможно из-за малого количества наблюдений) мне не встречались «перистосложные» побеги. Даже там, где пластинки супротивных листьев и лежат в одной плоскости (горизонтально расположенные ветки бересклета

бородавчатого, калины), черешки соседних пар отходят во взаимно перпендикулярных направлениях, а положение листьев обеспечивается вращением стебля вокруг своей оси и изгибанием черешков в результате фототаксиса и не является следствием истинного листорасположения.

Связь особенностей строения растений с пропорцией золотого сечения волнует исследователей на протяжении без малого четырех веков. Сейчас обсуждается вопрос о том, приведут ли биологические исследования к открытию неизвестных физических законов или удастся описать все особенности биологических тел на основе законов, уже известных в физике.

Нам удалось пойти по второму пути. Предложенная модель не призвана ни доказать механистический, ни опровергнуть иной взгляд на закономерности листорасположения, хотя многие допущения, сделанные предыдущими авторами, нам не понадобились. Скорее здесь вновь проиллюстрировано действие принципа минимакса — экстремального принципа, работающего в природе повсеместно.

Цунами и моретрясение в океане

Б. В. Левин

Где-то вздуется бурливо
Окиян, подымет вой,
Хлынет на берег пустой,
Расплеснется в шумном беге...

А.С.Пушкин



Борис Вульфович Левин, доктор физико-математических наук, начальник отдела наук о Земле Российского фонда фундаментальных исследований, главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, председатель Комиссии по цунами, член Международной комиссии по цунами и член Американского геофизического союза. Область научных интересов — волны цунами, моретрясения, динамические эффекты при подводных землетрясениях.

ГЕНИАЛЬНЫЕ поэты достаточно часто и точно описывали то, чего никогда не видели. Например, эти строчки Пушкина удивительно верно рисуют эффекты, сопровождающие моретрясение и цунами. Ученые тоже нередко брались описывать то, о чем имели довольно смутное представление. И иногда достигали успеха.

Особым интересом среди любознательных людей всегда пользовались явления природы, которые «велики и ужасны» и в то же время — труднообъяснимы. Попробуем представить читателю такие редкие и величественные явления, как цунами и моретрясение.

Одновременно постараемся осветить некоторые необычные свойства этих природных феноменов и разгадки, предлагаемые учеными. Сегодня это особенно актуально в связи с тем, что эволюция системы Земля—Луна—Солнце¹ периодически приводит нашу планету в состояние повышенной сейсмической активности, а в последнее время мы с вами наблюдаем именно такую активизацию.

ЧТО ЕСТЬ ЧТО?

Слово «цунами» в переводе с японского означает «гигантская волна в гавани». Этот термин стал известен в нашей стране после катастрофического землетрясения 1952 г. вблизи

© Левин Б.В. Цунами и моретрясение в океане.

¹ Авсюк Ю.Н. Эволюция системы Земля—Луна и ее место среди проблем нелинейной геодинамики // Геотектоника. 1993. № 1. С. 13—22.

о.Парамушир, когда огромной волной, высотой более 12 м, практически смыло город Северо-Курильск. И вскоре сейсмологи начали заниматься изучением проблемы цунами. Основателем этой тематики и бессменным лидером коллектива исследователей был академик Сергей Леонидович Соловьев, ушедший от нас в 1994 г.

Волна цунами возникает в открытом океане в результате действия подводного землетрясения и, как правило, вблизи эпицентральной зоны. Значительно реже она образуется при подводных оползнях, вулканических извержениях или под влиянием метеорологических факторов.

Как образуется цунами? В некоторой области на поверхности океана под влиянием возмущающих воздействий (быстрое поднятие или опускание морского дна, движение подводного оползня, резкое перемещение антициклона над океаном и др.) формируется так называемый источник цунами — зона локального возмущения уровня водной поверхности. С исчезновением возмущающей силы поверхность воды постепенно под действием гравитации приходит в обычное равновесное состояние. Колебания поверхности водного слоя в источнике цунами и приводят к формированию длинных гравитационных волн, или волн цунами.

Длина такой волны составляет десятки и даже сотни километров, что определяется размером источника возмущения (характерный размер области сотрясений на дне), который может достигать 100 км и более, а ее движение определяется гравитационными силами. При этом амплитуда волны в океане иногда составляет всего 3–5 м, а при подходе к берегу или с выходом на мелководье она способна возрастать за счет различных механизмов усиления до нескольких десятков метров. Скорость волны в открытом океане зависит от глубины воды² и может достигать 700 км/ч.

Моретрясение представляет собой

возмущение поверхности океана над эпицентральной зоной сильного подводного землетрясения. При этом на поверхности воды возникают брызговые султаны и откольные эффекты, появляются кавитационные пузырьки и нередко формируются стоячие волны³. Суда, находящиеся в районе эпицентра (в радиусе до 200–400 км), подвергаются сильным ударам, вибрации и мощным звуковым воздействиям, вызываемым сейсмоакустической волной сжатия, амплитуда которой может достигать⁴ 15 МПа.

Немногочисленные описания моретрясений со слов очевидцев изобилуют эмоциональными подробностями, которые мы представим позднее, и содержат не очень много информативного материала, необходимого ученым для построения физического сценария события. Однако очевидно, что этот природный феномен существует, представляет опасность и заслуживает внимательного изучения.

ВЕЛИКОЕ ОКТЯБРЬСКОЕ ШИКОТАНСКОЕ...

4 октября 1994 г. вблизи о.Шикотан произошло катастрофическое землетрясение с магнитудой 8.0 по шкале Рихтера. Наши японские коллеги назвали это событие «великое октябрьское» с некоторым оттенком иронии. Однако для пострадавших все было достаточно серьезно: 11 убитых, 240 раненых и более 7 тыс. людей, оставшихся без крова, — таковы последствия землетрясения и сопровождавших его моретрясения и цунами.

Конечно, это несопоставимо с масштабом трагедии в Кобе (Япония), где более слабое землетрясение в январе 1995 г. унесло несколько тысяч жизней (см. в этом номере: Б.И.Силкин. Уроки землетрясения в Кобе. С. 76), но стихийное бедствие — всегда бедствие.

² Соловьев С.Л., Го Ч.Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М., 1974.

³ Левин Б.В. Моретрясения // Квант. 1990. № 10. С.2–7.

⁴ Richards P.G. // Bull. Seismol. Soc. America. 1971. V.61. № 3. P.707–721.



Жилой дом, перемещенный волной цунами на 300 м. Южно-Курильск, 4 октября 1994 г.

Рыбацкий кунгас, заброшенный волной цунами на 150 м от берега. Остров Кунашир, 4 октября 1994 г.

Фото автора



**Бухта Малокурильская после
цунами. Остров Шикотан,
4 октября 1994 г.
Фото В.М.Кайстренко**



**Дом с просевшей после прохождения цунами
крышей.**

, Фото Е.А.Куликова



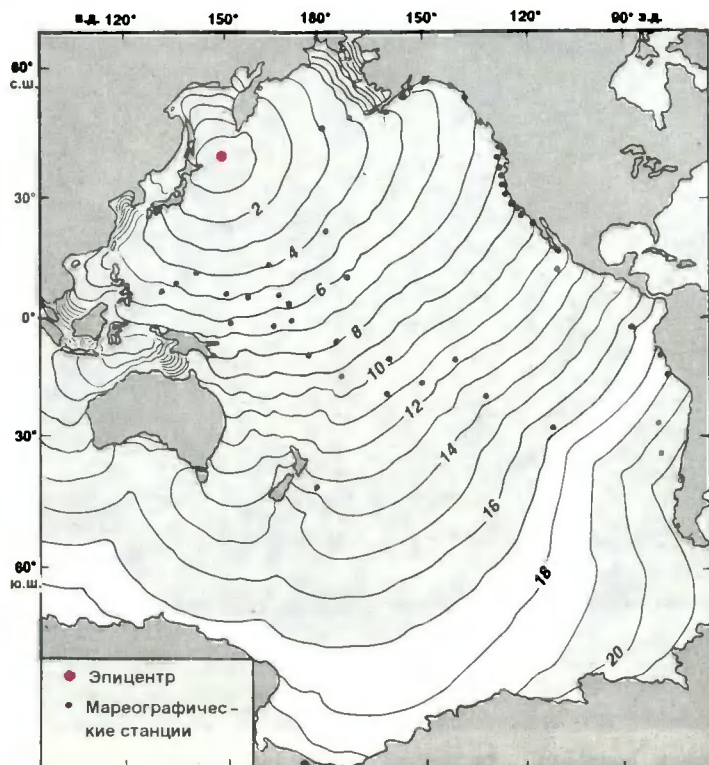


Схема распространения волн Шикотанского цунами в Тихоокеанском бассейне. Цифры на изохронах показывают время добегания (в часах).

Для изучения последствий этого уникального подводного землетрясения и сбора ценной научной информации Комиссия по цунами направила на Южные Курилы экспедиционный отряд, прибывший к месту событий уже 12 октября. В состав отряда были включены известные специалисты по цунами: Е.Н.Пелиновский из Нижнего Новгорода, В.К.Гусяков из Новосибирска, Е.А.Куликов из Москвы и автор этих строк. Оперативный выезд экспедиции смог состояться благодаря финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и помощи директора Института океанологии РАН С.С.Лаппо.

В Южно-Сахалинске мы присоединились к экспедиции Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, возглавляемой В.М.Кайстренко, а затем приняли в свои ряды еще двух ученых из США — Г.Йеха и В.В.Титова. Участники экспедиции обследовали береговые линии Шикотана, Кунашира, Итурупа и

Малых Курильских о-вов, замерили дальность заплесков волн цунами, выполнили топографическую и аэрофотосъемку участков прибрежной зоны, собрали сведения о проявлении моретрясения, опросив множество очевидцев — членов экипажей пострадавших судов.

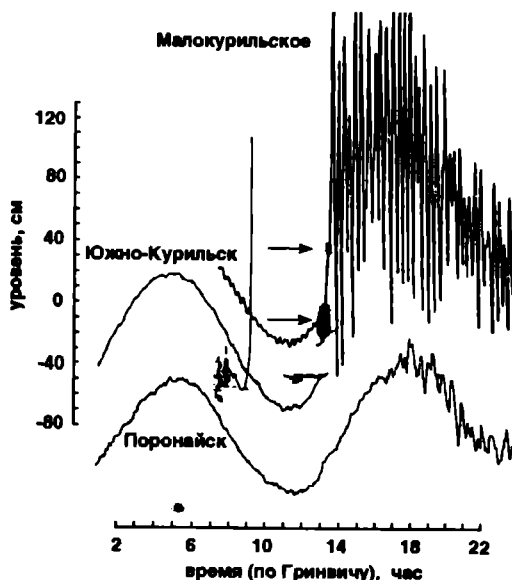
Это землетрясение, главный толчок которого произошел под дном Тихого океана в 50 км восточнее о.Шикотан, обладало рядом необычных особенностей и привело к нетривиальному развитию событий. Неглубокое залегание очага — до 30 км, значительный размер очаговой области и ее близкое расположение относительно Шикотана, довольно большая величина сейсмического момента очага и сдвиговой компоненты подвижки в очаге — все это создало условия для реализации весьма нестандартного сейсмического сценария.

Одним из важнейших последствий землетрясения явилось общее тектоническое опускание о.Шикотан на

0.5—0.6 м, что подтвердили и геодезические измерения, и записи берегового самописца уровня океана. Сейсмический толчок вызвал интенсивные колебания грунта и разрушения в одном из поселков на о.Итуруп, на значительном удалении от эпицентра. Ощутимые эффекты моретрясения отмечались экипажами судов на весьма больших расстояниях от эпицентра — более 300 км. Волна цунами, сформировавшаяся восточнее Шикотана, обошла остров с разных сторон, и при затоплении побережья о.Кунашир на некоторых участках проявился эффект усиления действия волны за счет сложения амплитуд двух волн. Максимальные высоты заплеска на Курилах достигали 9—10 м, аппаратурой же Шикотанское цунами было зарегистрировано на всем Тихоокеанском побережье⁵.

Цунами оставило заметные следы на восточном побережье островов, что особенно хорошо видно на аэрофотоснимках, сделанных сразу же после затопления. В бухте Южно-Курильска волной было повреждено два судна, выброшено на берег семь плашкоутов и пассажирский катер, сорвано с фундаментов несколько производственных зданий. В поселке волной смыто три дома, причем один из них был сорван с фундамента и унесен вверх по течению реки на 300 м. Таких курьезов раньше не наблюдалось. Рыбачий кунгас был заброшен волной в глубь суши на расстояние более 150 м и аккуратно поставлен на проезжую часть проселочной дороги. Можно заподозрить это цунами в наличии чувства юмора. Свои автографы волна оставила на записях самописцев мареографических станций не только Шикотана и Кунашира, но и Сахалина, Японии, Гавайских о-вов и даже Австралии.

Впервые собран интереснейший материал систематического опроса очевидцев моретрясения. Заведующий лабораторией цунами ИМГиГ ДВО РАН

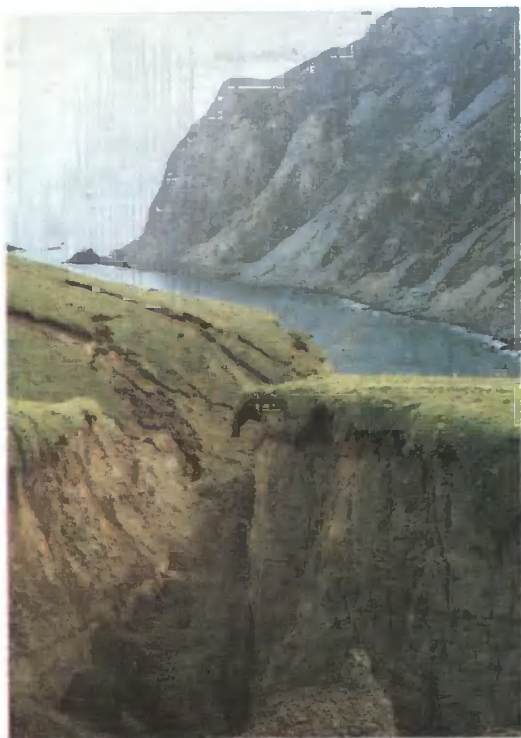


Записи цунами мареографами в пос. Малокурильском (о.Шикотан), Южно-Курильске (о.Кунашир) и Поронайске (о.Сахалин). Стрелки показывают величину опускания о.Шикотан — 0.5 м.

В.М.Кайстренко собрал информацию у членов экипажей более 15 судов, находившихся в зоне действия эффектов моретрясения. Это явление ощущалось многими как сильнейший удар по корпусу судна или как серия ударов с последующей продолжительной, более 20 сек, вибрацией. Отмечалось «вскипание» поверхности моря и появление системы крутых стоячих волн, напоминающих толчею или сулой (вид волнения, при котором на поверхности сочетаются волновые и вихревые движения). На многих судах были выведены из строя трубопроводы, электропитание, электроника, повреждены механизмы, сорваны крепежные болты тяжелого оборудования. Даже личный холодильник в капитанской каюте рыболовного траулера, освободившись от крепления, выбежал на середину.

Надо отметить, что в последнее время мореплаватели не так уж редко сталкиваются с моретрясением, хотя для большинства людей это явление

⁵ Иващенко А.И. и др. Шикотанское цунами 4 октября 1994 г. // Докл. АН. 1996.



Трещина, возникшая при землетрясении 4 октября 1994 г. возле пос. Малокурльского. Фото В.М.Кайстренко

продолжает оставаться неслыханным чудом. Например, экипаж супертанкера «Эксон Бостон», оказавшегося 6 марта 1988 г. в 40 км от эпицентра подводного землетрясения в Аляскинском заливе, испытал сильнейшую тряску, «как будто в шейкере», а полученные повреждения пришлось залечивать в доке в течение месяца⁶. В аналогичную ситуацию попал танкер «Ида Кнудсен» в 1969 г. в зоне действия сильного моретрясения в Атлантике. Сегодня имеется более 200 описаний очевидцев, что позволяет нам предложить свободную реконструкцию условного, «обобщенного» моретрясения. Этот сценарий, возможно, не очень точен, но зато наверняка интересен.

ОПИСАНИЕ НЕВЫДУМАННОГО МОРЕТЯСЕНИЯ

...Зеркально-гладкая поверхность моря при полном безветрии внезапно покрылась буграми. Эти бугры никуда не бежали, но и не стояли на месте. Они стремительно вырастали до уровня палубы и так же внезапно опадали, образуя глубокую воронку.

Колебания происходили быстро, в глазах рябило от этих необыкновенных вскипающих волн, заполнивших все видимое пространство моря. Поверхность воды бурлила и подскакивала, подобно кипящему слою в раскаленной солеварне. (1772 г., впечатления наблюдателя на рейде Джакарты.)

...Судно подбрасывало и раскачивало на подпрыгивающих волнах. Крутизна их достигала крутизны жесточайших штормовых волн, а длина не превышала 20 м. Килевая качка была такой силы, что несколько раз осушался винт и слетела с острия картушка компаса. (1917 г., о.Сулавеси.)

...Все пассажиры и команда мгновенно оказались на палубе. Яркое солнце и полный штиль лишь усиливали напряжение ужасающего зрелища взбесившегося моря. Прошло меньше минуты, а уже не было сил сопротивляться чудовищной скачке, которая то ослабевала, то вновь усиливалась. Размеры водяных бугров начали уменьшаться, а частота мелькания увеличивалась. При этом откуда-то из глубины возник низкий ревоподобный гул, подавляющий волю и разум.

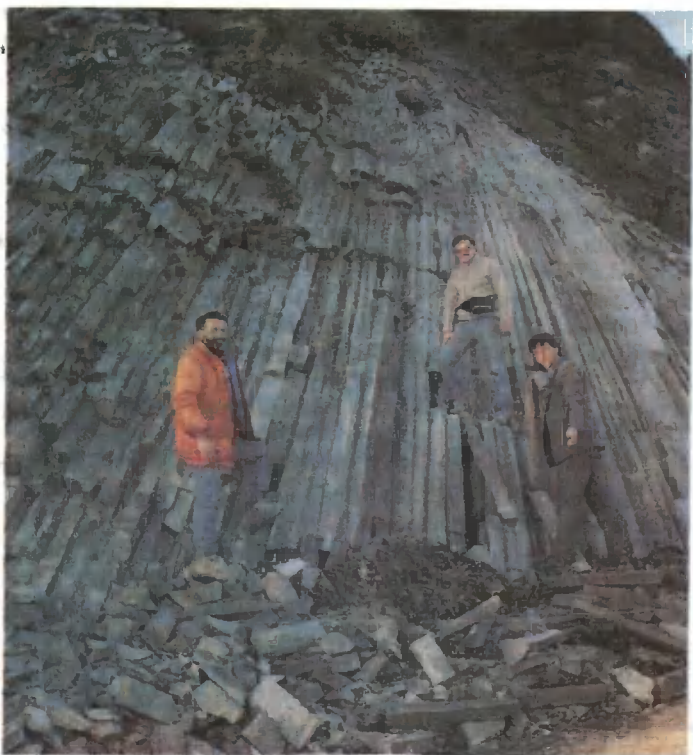
Люди стали метаться по судну, охваченные паническим страхом. Некоторые пассажиры и даже матросы, не выдержав этой пытки и, видимо, потеряв рассудок, стали выпрыгивать за борт. На фоне вспыхивающих волн появлялись высоко вздымающиеся струи воды, которые обрушивались, порождая странный шелестящий звук. (1969 г., Чили, пароход «Ле-Пайла».)

...Внезапно судно потряс сильнейший удар. Несколько человек с палубы выкинуло за борт. Удары в днище посыпались один за другим. Казалось, что судно колотило о скаль-

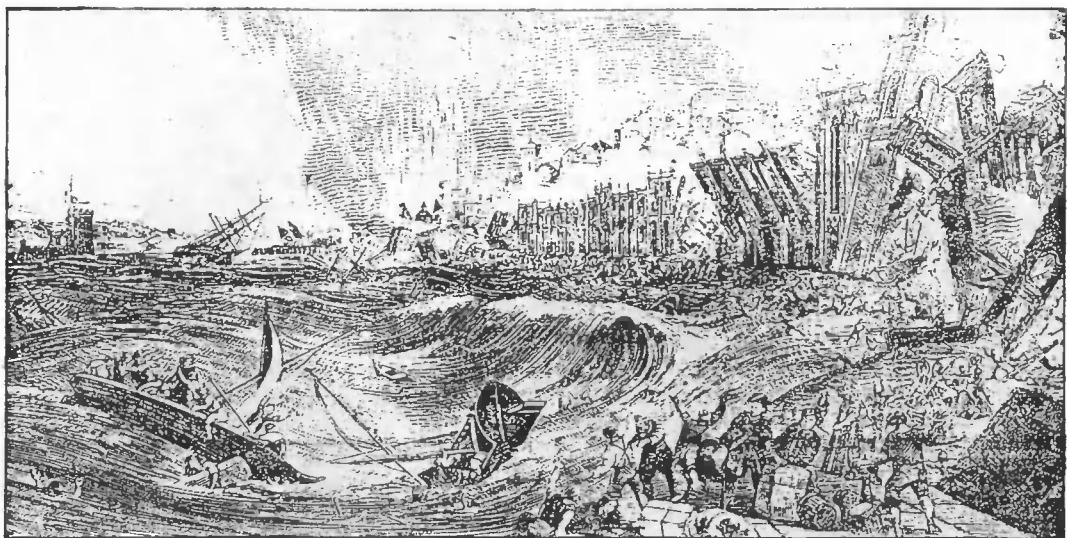
⁶ Harris T. Exxon Underway (Texas). 1988. V.12. № 3. P.5—9.



Повреждения растительного покрова на о. Окусири (Япония) в результате залеска саалы цунами в 1993 г.
Фото А.Б.Рабиновича



Обнажение скальных пород вследствие землетрясения 4 октября 1994 г. и волны цунами. Остров Кунашир.
Фото автора



Последствия землетрясения и цунами 1 ноября 1755 г. в Лиссабоне. Старинная литография.

ное дно, хотя глубина под килем превышала 100 м. (1939 г., Соломоновы о-ва; 1988 г., «Эксон Бостон», Аляскинский залив; 1994 г., Южно-Курильский о-ва.)

...Создавалось впечатление, что в трюме подпрыгивают огромные бочки с водой и обшивка вот-вот лопнет. Ванты дрожали, обломились поручни трапа, осыпались стекла в рубке, палубные надстройки начали сдвигаться и разваливаться на глазах. Судно готовилось к неотвратимой гибели. (1854 г., Японское море, фрегаты «Паллада», «Диана»; 1858 г., Чили, бриг «Гималайя»; 1863 г., Манила, исчезновение парохода «Эсперансо»; 1965 г., Аляска, судно «Огайя».)

МОРЕТЯСЕНИЕ В ТАЗИКЕ

Лабораторное моделирование моретрясений проводилось автором с сотрудниками в Институте горного дела им. А.А.Скочинского (Московская обл.) на специальной виброустановке с заполненным водой резервуаром диаметром 50 см. «Землетрясение» создавалось вибратором, расположенным в центральной части дна. Естественно, в эксперименте учитывались

характерные параметры моделируемого реального процесса.

При подводном землетрясении колебания дна происходят преимущественно в диапазоне инфразвуковых частот порядка 1–20 Гц, а размер колеблющейся области дна (~100 км) всегда значительно превышает среднюю глубину Мирового океана, равную 4 км. Ускорения движения дна могут достигать и даже превышать ускорение силы тяжести.

Лабораторная установка обеспечивала требуемый диапазон частот и ускорений, а наличие подвижного диска диаметром 20 см в дне полуметрового резервуара при соответствующей глубине воды позволяло выполнить условие геометрического подобия модели и реального события⁷.

Эффекты, наблюдавшиеся в эксперименте, оказались весьма необычными:

при колебаниях донного диска с амплитудой 1–2 мм в диапазоне частот 8–23 Гц на поверхности воды возникали регулярные структуры из стоячих волн с ячейками квадратной и гексагональной формы, при этом размеры ячеек или длины волн изменялись от 12 до 120 мм, а высоты волн

⁷ Александров В.Е., Басов Б.И., Левин Б.В., Соловьев С. Л. // Докл. АН СССР. 1986.

— от 4 до 30 мм при уменьшении частоты колебаний;

происходило гигантское усиление колебаний при ускорениях движения дна порядка величины ускорения силы тяжести g : колебания диска с амплитудой 0.5—1 мм генерировали стоячие волны с амплитудой до 30 мм, т.е. коэффициент усиления колебаний был не менее 30.

Экспериментально установлена закономерность квадратичной зависимости длины волны от периода колебаний дна $L \approx gT^2$ и линейная зависимость высоты волны от ее длины $H \approx L/3$.

Отметим, что впервые подобные волновые структуры на поверхности колеблющейся жидкости обнаружил и описал Фарадей в 1831 г.⁸ Эти волны, известные в научной литературе как резонансы Фарадея, исследовались впоследствии как явления капиллярного характера⁹, поскольку размеры ячеек, полученных в прежних экспериментах, не превышали 5—15 мм.

Зависимость между размером ячеек и частотой колебаний дна ранее не отмечалась, однако диссипативный характер возникающих колебательных структур на воде не вызывал сомнения. Структуры с шестигранными ячейками сразу ассоциировались с хорошо известными в нелинейной динамике ячейками Бенара, возникающими при термоконвекции жидкости.

Результаты опытов по моделированию моретрясений позволили предложить физический сценарий этого мало исследованного геофизического явления. Колебания локального участка морского дна размером много больше толщины водного слоя приводят к колебательным движениям водной поверхности. При определенных динамических условиях (амплитуда, скорость, ускорение, частота колебаний) возмущения водной поверхности самоорганизуются в регулярную структуру из

параметрических стоячих волн. Существование таких волновых структур наблюдается в узком диапазоне значений чисел Рейнольдса (примерно 2000 ± 200), соответствующих предтурбулентному режиму осцилляций поверхности. В области докритических режимов колебаний дна (слабые движения) на поверхности формируются только беспорядочные возмущения и течения воды. Могут появляться отдельные волны. Если реализуются надкритические режимы, то на поверхности возникает развитая турбулентность жидкости, могут формироваться сильные акустические волны, появляются кавитационные эффекты, брызговые султаны и приповерхностный слой воды может оказаться разорван на отдельные тонкие слои.

Представления, полученные в лаборатории, и физическая интерпретация явления вполне согласуются с впечатлениями очевидцев реального моретрясения. Это позволяет нам двинуться дальше и попытаться приоткрыть завесу над одной из многочисленных старых тайн океана.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ И ФЕНОМЕН «ЛЕТУЧЕГО ГОЛЛАНДЦА»

Теоретическое описание эффекта образования волновых структур при моретрясении представляет значительные трудности, несмотря на прямое указание классиков: «...вертикальное конвекционное движение в жидкости должно обладать периодичностью в горизонтальной плоскости»¹⁰. В этом же труде предсказана возможность образования квадратных и гексагональных ячеек волновых структур.

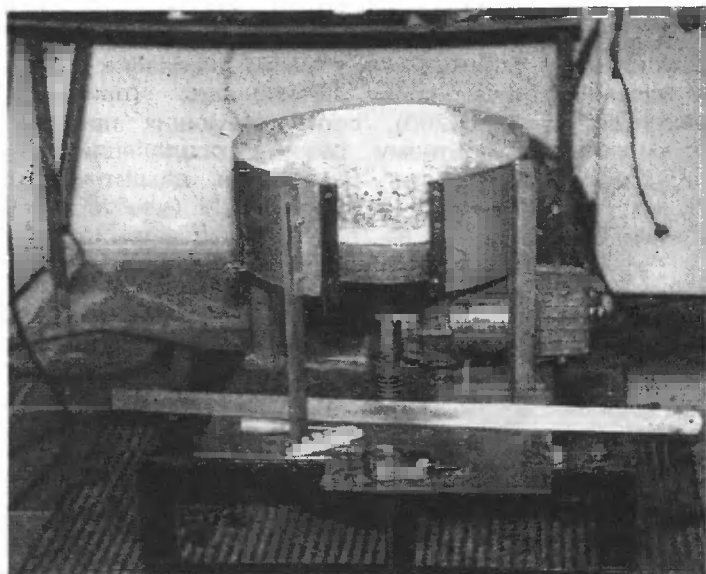
Некоторые успехи в построении качественной, а затем и строгой теории, описывающей моретрясение, уже сделаны, но здесь мы ограничимся представлением физических оснований теории и ее выводами¹¹.

⁸ Faraday M. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 1831. V.121. P.299—340.

⁹ Рабинович М.И. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т.41. Вып.4. С.129—131; Miles J.W. // J.Fluid Mech. 1984. V.146. P.285—302.

¹⁰ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М., 1954. С.795.

¹¹ Левин Б.В., Трубкин Б.А. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т.44. Вып.7. С.311—315.



Лабораторная установка для моделирования моретрясения.

Водный слой над вибрирующим дном находится одновременно под воздействием двух силовых полей: постоянного гравитационного поля Земли и осциллирующего поля ускорений, вызванных колебаниями дна. Возмущения поверхности жидкости описываются в данном случае уравнением Маттье, при этом раскачка параметрических волн происходит с половинной частотой по отношению к частоте колебаний дна. Гравитационные волны на воде подчиняются известному закону дисперсии, отражающему связь частоты колебаний (или частоты приложения возмущающей силы) и волнового числа, т.е. величины, обратно пропорциональной длине волны.

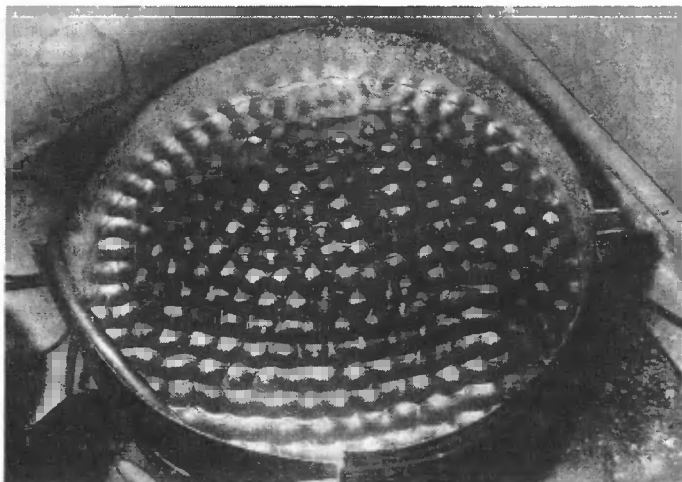
Экспериментальные результаты моделирования моретрясений полностью соответствуют закону дисперсии параметрических волн и одновременно относятся к области неустойчивых решений уравнения Маттье, что определяет условие нелинейной раскачки волн. Простой иллюстративный пример параметрических колебаний — раскачивание на качелях. Возмущающее воздействие (приседание качающегося) производится с частотой, которая вдвое превышает частоту колебания

качелей. Иначе говоря, частота параметрических колебаний равна половине частоты вынуждающей силы.

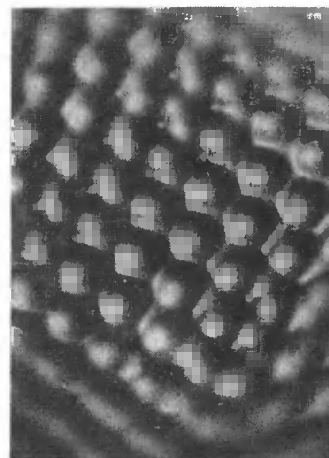
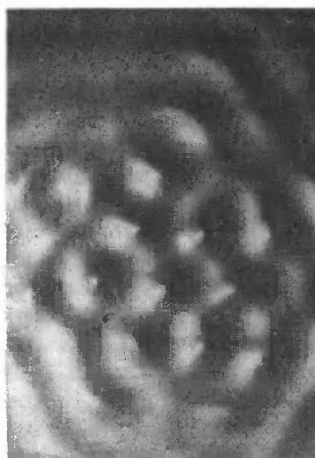
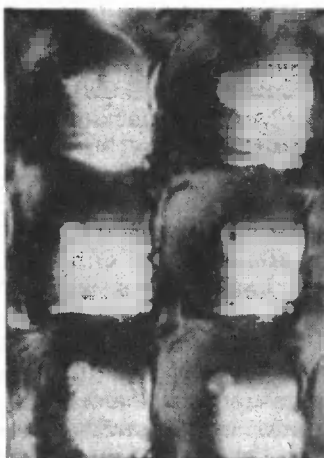
Яркими примерами параметрического усиления колебаний жидкости служат некоторые факты из описаний сильных землетрясений¹². «...Деревянные срубы из колодцев вылетели, как пробки, вверх, вода за ними следом до трех саженей в высоту... вода выбрасывалась из прорубей, лед на озерах весь растрескался, из трещин вылетала вверх вода с илом и галькой». (1862 г., Цаганское землетрясение.)

Многие землетрясения сопровождались появлением высоко бьющих фонтанов (до 5—8 м) из воды с песком и илом, выплескиванием воды из бассейнов и бочек, чернил из чернильниц, масла из лампад и даже выбрасыванием покойников из могил. Кроме последнего, будоражащего воображение факта (1868 г., Перу), остальные события явно демонстрируют параметрическое усиление колебаний жидкости при определенных сейсмических колебаниях дна.

¹² Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М., Наука, 1977.



Колебательные структуры на поверхности воды в экспериментальном бассейне.



Кинограммы волновых структур.

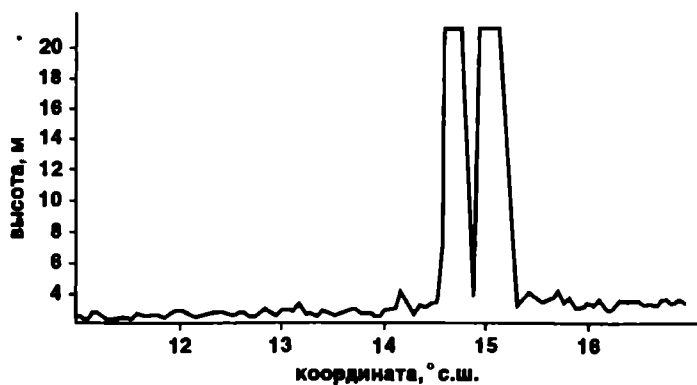
Таким образом, реальные события подтверждают выводы эксперимента и теории, свидетельствующие о принадлежности волновых структур моретрясения к классу параметрических волн. Эти волновые структуры представляют собой совокупность регулярно расположенных нелинейных параметрических стоячих волн, имеющих частоту, равную половине частоты колебаний дна. Анализ этого явления и сопутствующих акустических эффектов при сильных подводных землетрясениях¹³ подтвердил справедливость

предложенного механизма формирования моретрясения.

Поскольку сейсмические колебания дна, при которых могут возникать регулярные волновые структуры на поверхности воды, характеризуются частотами в интервале 8–24 Гц, то моретрясение должно содержать колебательную структуру из стоячих волн с частотой в диапазоне 4–12 Гц. Структура такого типа со средней частотой 8 Гц и размером порядка 100 км в поперечнике должна порождать низкочастотные колебания воздуха с близкими частотами на достаточно большой площади морской поверхности.

В то же время известно, что акустические колебания с частотой около 7 Гц вызывают сильное депрес-

¹³ Levin B., Kaistrenko V., Kharlamov A., Chepareva M., Kryshny V. // Proc. Intern. Tsunami. Sympos. Wakayama, Japan, 1993. P.309–319; Иванов В.В., Левин Б.В. // Изв. РАН. Физика Земли. 1994. № 3. С.9296.



Спутниковая альтиметрическая регистрация волнового возмущения тила цунами вблизи о. Гуам (Марьянские о-ва).

сивное состояние человеческой психики. В небольшом коллективе, находящемся в замкнутом пространстве, такое воздействие может привести к коллективному психозу.

Экипаж небольшого судна, попавшего в район моретрясения, оказывается внутри гигантской — около 100 км в поперечнике — вертикальной трубы, которая излучает мощный инфразвук на самых опасных частотах и наводит атактистический ужас на мореплавателей. И такая кошмарная «музыка» продолжается десятки и даже сотни секунд, в соответствии с продолжительностью землетрясения. Можно предположить, что впечатлительные мореплаватели средневековья в такой ситуации были вполне способны под воздействием общего психоза покинуть свой «взбесившийся» корабль. Такова возможная геофизическая версия объяснения феномена «Летучего голландца».

УВИДЕТЬ ЦУНАМИ ИЗ КОСМОСА

Известный космонавт В.В.Рюмин как-то рассказывал в компании, что ему довелось увидеть волну цунами и даже заснять ее на пленку со спутника. Фильм нам увидеть не удалось, но описание содержало такие элементы, как бегущая по поверхности океана полоса длиной более 300 км, размытые края полосы и четкая линия гребня. Сопоставить эту информацию с каким-либо реальным сейсмическим событием также не удалось. Но

желание зафиксировать цунами или моретрясение на поверхности океана с помощью спутниковой аппаратуры прочно запало в голову.

В конце 80-х годов группа сейсмологов-цунамистов из Сахалинского комплексного института ДВНЦ АН СССР (С.Л.Соловьев, Б.В.Левин, В.М.Кайстренко, А.А.Поплавский и А.А.Харламов) запатентовала «Способ определения параметров сильного подводного землетрясения». Идея этого изобретения базировалась на возможности дистанционного оптического измерения характеристик возмущенной области морской поверхности над очагом подводного землетрясения.

Наши эксперименты, анализ натурных измерений и теоретические оценки показали, что сейсмические колебания дна способны формировать в воде волну сжатия с амплитудой порядка 15 МПа, которая образует при отражении от водной поверхности волну разрежения и создает зону акустической кавитации в приповерхностном слое. Подобные явления наблюдались при подводных ядерных и химических взрывах.

В области, занятой кавитирующей жидкостью, изменяется величина альбедо, что легко регистрируется с аэрокосмического аппарата. Кроме того, в зоне возмущения могут развиваться низкотемпературные аномалии и вторичные волновые эффекты. Сообщение о начале исследований в этом направлении, сделанное нами в 1993 г. на симпозиуме по цунами в Япо-

нии¹⁴, вызвало большой интерес у международного научного сообщества. Было отмечено, что изменение альбедо на большой площади в течение времени порядка 100 сек, возмущения морской поверхности с амплитудами порядка 5 м, локальное уменьшение температуры поверхности воды на единицы градусов могут быть зарегистрированы из космоса, а это позволит восстановить исходные параметры сейсмического возмущения на дне.

В рамках этой программы В.М.Кайстренко подготовил базу данных с описанием очагов сильных цунамигенных землетрясений. Эти материалы были переданы в Центр геофизических исследований в Потсдаме (Германия), где проведен поиск аномальных событий в массиве записей спутниковых альтиметрических измерений, совпадающих по времени и координатам с геофизическими событиями. Из всего имеющегося массива данных было выделено одно событие, которое оценивалось как достаточно достоверное.

На фоне обычного ветрового волнения в океане (амплитуда волн до 4 м) вблизи о.Гуам (Марианские о-ва) обработка альтиметрических материалов спутниковой системы ERS-1 позволила обнаружить необычное волновое возмущение¹⁵ высотой более 20 м. Оно представляло собой два почти одинаковых гребня, разделенных неглубокой впадиной. Длина волны, или основание каждого из гребней, составляло не менее 30 км, а понижения уровня поверхности спереди и сзади двухгребневого возмущения не обнаруживалось. Подобное волновое образование в виде гребня без впадины называют в гидродинамике солитонем, и волну цунами в океане относят именно к этому классу волн.

Это возмущение было обнаружено в точке с координатами 15° с.ш., 143.3° в.д. на расстоянии около 200 км от о.Гуам и примерно в 300 км от эпицентра подводного землетрясения

(13° с.ш., 144.8° в.д.), которое произошло 8 августа 1993 г. и имело магнитуду 8.1 по шкале Рихтера.

Вызывает некоторое недоумение большая высота этой волны в океане (20 метров!), поскольку традиционно считается, что цунами вблизи источника возмущения обычно не превышает 10 м, а зафиксированная на берегу высота заплеска Гуамского цунами не превышала 1.5 м. Однако если учесть, что глубина океана в зоне генерации цунами составляла более 5 км (Марианская впадина), а в точке регистрации волны со спутника расположено поднятие и глубина воды не превышает здесь 200 м, то аномальное возрастание высоты волнового возмущения можно легко объяснить влиянием эффектов мелководья. Подобное усиление длинной волны на шельфовых глубинах отмечалось неоднократно.

Разумеется, описанный единственный случай не следует считать за строго зафиксированный факт регистрации цунами из космоса, однако современная техника наблюдений открывает перед исследователями новые большие возможности в изучении редких и могущественных явлений природы.

В заключение отметим, что в 1995 г. был основан и начал работать Научно-координационный центр цунами им. академика С.Л.Соловьева — самоуправляемая негосударственная организация. Учредители Центра (Институт океанологии РАН, Институт физики Земли РАН, Физический факультет МГУ и Институт прикладных сейсмоакустических исследований АЕН) считают главной его задачей координировать и организовывать научные исследования и просветительскую деятельность по проблеме цунами. НКЦЦ приглашает желающих к сотрудничеству. Тел. (095)124-63-88.

¹⁴ Там же.

¹⁵ Anzenhofer M. Private communication. 1995.

Почему их больше, чем две тысячи?

А. П. Хомяков



Александр Петрович Хомяков, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. Главную часть своей творческой деятельности посвятил изучению массивов щелочных пород и связанных с ними уникальных редкометалльных месторождений, в которых им было открыто более 70 новых минералов. Лауреат премии им. А.Е.Ферсмана РАН (1988).

ПОЖАЛУЙ, ничто не тормозит развитие научной мысли более сильно, чем заложенная в природе человека склонность всецело полагаться на авторитет известных ученых и следовать укоренившимся представлениям. Так, долгое время среди естествовников господствовало казавшееся бесспорным представление, что в кристаллическом состоянии на Земле существует около двух тысяч минералов, основная часть которых уже найдена, и перспективы открытия новых минеральных видов крайне ограничены¹. Автору данной статьи удалось во многом разрушить указанный стереотип. Многолетние исследования позволили предположить, что число реально существующих, но еще не открытых минералов многократно превосходит число минералов, установленных в природе к настоящему времени.

Среди несомненных свидетельств прогресса естествознания второй половины XX в. — общепризнанные достижения наук о Земле, в том числе минералогии, поражающей воображение ускорением темпов открытий изучаемых ею объектов. Достаточно отметить, что только с 1970 г. по настоящее время во всем мире было открыто примерно столько же минералов, что и за весь предшествующий исторический период. В результате, общая система минералов (каждый из которых отличается от всех прочих составом и/или строением) расширилась с ~2000 до ~3600 видов.

© Хомяков А.П. Почему их больше, чем две тысячи?

¹ Поваренных А.С. О распространенности химических элементов в земной коре и числе минеральных видов // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1966. Вып. 2. № 20. С.178—185; Урусов В.С. Почему их только две тысячи? // Природа. 1983. № 10. С.82—88.



Заснеженные горы Хибин.

Увеличение почти в два раза природных кристаллических соединений коренным образом изменило представления о химическом и структурном разнообразии минерального мира, особенностях распределения различных элементов, прежде всего редких, в породах и рудах, позволило выявить принципиально новые виды минерального сырья, привело к полной переоценке многих типов месторождений полезных ископаемых, явилось мощным стимулом дальнейшего развития как самой минералогии, так и сопредельных наук — геохимии, петрологии, кристаллофизики.

Все выше сказанное как в зеркале отразилось в научных поисках российских минералогов, многие годы занимающих лидирующие позиции в мировой науке. И среди наиболее впечатляющих результатов этих поисков — небывалый вклад в систему минеральных видов, сделанный отечественными учеными при изучении крупнейших на Кольском

п-ове горных массивов Хибинских и Ловозерских тундр.

ПО СЛЕДАМ СЕВЕРНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ А.Е.ФЕРСМАНА

Давно и хорошо изученные щелочные массивы Хибин и Ловозера продолжают удивлять научный мир необыкновенными открытиями. Расположенные в центральной части Кольского п-ова, в непосредственной близости друг от друга, они вместе образуют гигантский, площадью около 2000 км² Хибино-Ловозерский комплекс агаитовых нефелиновых сиенитов², с которым связаны уникальные

² К «агаитовым» петрологи относят очень редкие типы высокощелочных магматических пород, которые противопоставляются менее щелочным «миаскитовым», относительно широко распространенным в земной коре. Во всем мире выявлено только 10—15 крупных массивов первого типа, но именно с ними, а не с сотнями более мелких интрузий миаскитовых нефелиновых сиенитов, связаны промышленные месторождения почти половины элементов таблицы Менделеева — фосфора, алюминия, ниобия, тантала, циркония, цериевых и иттриевых редких земель, стронция, галлия и др.

Таблица

Новые минералы, установленные в Хибинском и Ловозерском массивах в 1970—1995 гг.

№ п/п	Минерал	Формула	Массив	
			Хибинский	Ловозерский
1	Аллуайвит*	$\text{Na}_{19}\text{Ca}_8(\text{Ti}, \text{Nb})_3\text{Si}_{28}\text{O}_{74}\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	+
2	Алтисит*	$\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$	+	—
3	Арктит*	$\text{Na}_5\text{BaCa}_7(\text{PO}_4)_6\text{F}_3$	+	—
4	Баренцит*	$\text{Na}_7\text{AlH}_2(\text{CO}_3)_4\text{F}_4$	+	—
5	Бонштөдит*	$\text{Na}_3\text{Fe}(\text{PO}_4)(\text{CO}_3)$	+	—
6	Борнеманит*	$\text{Na}_7\text{BaTi}_2\text{NbPSi}_4\text{O}_{21}\text{F}$	—	+
7	Витусит*	$\text{Na}_3\text{Ce}(\text{PO}_4)_2$	+	+
8	Вуоннемит*	$\text{Na}_{11}\text{TiNb}_2\text{Si}_4\text{P}_2\text{O}_{25}\text{F}$	+	+
9	Гидроделъхайелит	$\text{KCa}_2\text{Si}_7\text{AlO}_{17}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	+	—
10	Гидроксиканкринит*	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_8(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	+
11	Грумантит*	$\text{NaHSi}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	—	+
12	Денисовит	$(\text{K}, \text{Na})\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_8(\text{F}, \text{OH})$	+	—
13	Дорфманит	$\text{NaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	+	+
14	Ершовит*	$\text{Na}_4\text{K}_3(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti})_2\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	+	—
15	Захаровит*	$\text{Na}_4\text{Mn}_5\text{Si}_{10}\text{O}_{24}(\text{OH})_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	+	+
16	Зорит	$\text{Na}_2(\text{Ti}, \text{Nb})\text{Si}_3\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	+
17	Ильмайоки	$\text{Na}_2\text{TiSi}_3\text{O}_9 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	—	+
18	Имандрит*	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})_2$	+	—
19	Интерсилит*	$\text{Na}_6\text{Mn}(\text{Ti}, \text{Nb})\text{Si}_{10}(\text{O}, \text{OH})_{28} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	+
20	Казаковит*	$\text{Na}_6\text{MnTiSi}_6\text{O}_{18}$	+	+
21	Кальборсит*	$\text{K}_6\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20} \text{ B}(\text{OH})_4\text{Cl}$	+	—
22	Канкрисилит*	$\text{Na}_7\text{Al}_5\text{Si}_7\text{O}_{24}(\text{CO}_3) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	+
23	Квадруфит*	$\text{Na}_{14}\text{CaMgTi}_4\text{Si}_4\text{F}_4\text{O}_{34}\text{F}_2$	—	+
24	Келдышит*	$\text{Na}_3\text{HZr}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$	—	+
25	Клинофосинаит*	$\text{Na}_3\text{CaSiPO}_7$	+	—
26	Коашвит	$\text{Na}_6\text{CaTiSi}_6\text{O}_{18}$	+	—
27	Комаровит	$(\text{H}, \text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb}, \text{Ti})_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	—	+
28	Костылевит*	$\text{K}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	+	—
29	Крофордит*	$\text{Na}_3\text{Sr}(\text{CO}_3)(\text{PO}_4)$	+	—
30	Кукисвумит	$\text{Na}_6\text{ZnTi}_4\text{Si}_8\text{O}_{28} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	+	—
31	Лапландит*	$\text{Na}_4\text{CeTiSi}_7\text{PO}_{22} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	+
32	Линтисит*	$\text{Na}_3\text{LiTi}_2\text{Si}_4\text{O}_{14} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	+
33	Литосит*	$\text{K}_3\text{HAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{13}$	+	—
34	Ловдарит	$\text{Na}_3\text{KB}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	—	+
35	Манаксит*	$\text{NaKMnSi}_4\text{O}_{10}$	—	+
36	Манганотихит*	$\text{Na}_6\text{Mn}_2(\text{CO}_3)_4(\text{SO}_4)$	—	+
37	Мегациклит*	$\text{Na}_6\text{KSi}_9\text{O}_{18}(\text{OH})_9 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$	+	—
38	Минеевит*	$\text{Na}_{25}\text{BaY}_2(\text{CO}_3)_{11}(\text{HCO}_3)_4(\text{SO}_4)_2\text{F}_2\text{Cl}$	+	+
39	Набафит*	$\text{Na}(\text{Ba}, \text{Sr})\text{PO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	+	—
40	Накафит*	$\text{Na}_2\text{CaPO}_4\text{F}$	+	—
41	Настрофит*	$\text{Na}(\text{Sr}, \text{Ba})\text{PO}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	—	+
42	Натисит	$\text{Na}_2\text{TiSiO}_5$	+	+
43	Натрит*	Na_2CO_3	+	+
44	Натроксалат*	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	+	+
45	Натросилит	$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	+	+

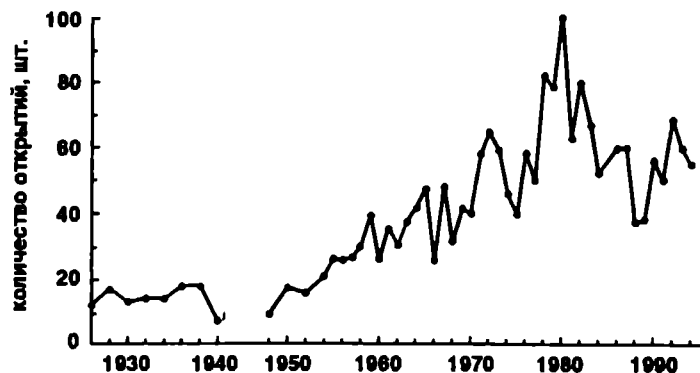
№ п/п	Минерал	Формула	Массив	
			Хибинский	Ловозерский
46	Натрофосфат	$\text{Na}_7(\text{PO}_4)_2\text{F} \cdot 19\text{H}_2\text{O}$	+	+
47	Нахпоит*	Na_2HPO_4	+	+
48	Нефедовит*	$\text{Na}_5\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_4\text{F}$	+	—
49	Нафартисит*	$\text{Na}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_8\text{Ti}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{34}(\text{O}, \text{OH})_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	+	—
50	Олимпит*	$\text{Na}_5\text{Li}(\text{PO}_4)_2$	+	+
51	Ольгит*	$\text{Na}(\text{Sr}, \text{Ba})\text{PO}_4$	+	+
52	Паракелдышит*	$\text{Na}_2\text{ZrSi}_2\text{O}_7$	+	+
53	Паранатисит*	$\text{Na}_2\text{TiSiO}_5$	+	—
54	Параумбит*	$\text{K}_3\text{HZr}_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	+	—
55	Пенквилксит*	$\text{Na}_4\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{22} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	—	+
56	Перлиалит	$\text{K}_9\text{NaCaAl}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	+	—
57	Полифит*	$\text{Na}_{17}\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{Ti}, \text{Mn})_4\text{Si}_4\text{P}_6\text{O}_{40}\text{F}_8$	—	+
58	Пятенкоит*	$\text{Na}_3\text{YTlSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	—	+
59	Раит	$\text{Na}_4\text{Mn}_3\text{Si}_8(\text{O}, \text{OH})_{24} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	+	+
60	Расвумит	KFe_2S_3	+	+
61	Ревдит*	$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	+	+
62	Рувиллит*	$\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Mn}, \text{Ca})(\text{CO}_3)_3\text{F}$	—	+
63	Сажинит*	$\text{Na}_3\text{CaSi}_6\text{O}_{15} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	—	+
64	Сазыкинаит*	$\text{Na}_5\text{YZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	+	—
65	Сидоренкиит*	$\text{Na}_3\text{Mn}(\text{PO}_4)(\text{CO}_3)$	+	+
66	Ситинакиит*	$\text{Na}_2\text{KTl}_4\text{Si}_2\text{O}_{13}(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	+	—
67	Соболевит*	$\text{Na}_{14}\text{CaMgTi}_4\text{Si}_4\text{P}_4\text{O}_{34}\text{F}_2$	—	+
68	Терскиит*	$\text{Na}_4\text{ZrSi}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	—	+
69	Тьеттаит*	$(\text{Na}, \text{K})_{17}\text{Fe}^{3+}\text{TiSi}_6\text{O}_{29}(\text{OH})_{30} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	+	—
70	Тисиналит*	$\text{Na}_3\text{MnTiSi}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_3$	+	—
71	Тулиокиит	$\text{Na}_6\text{BaTh}(\text{CO}_3)_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	+	—
72	Умбит*	$\text{K}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	+	—
73	Умбозерит*	$\text{Na}_3\text{Sr}_4\text{ThFeSi}_6\text{O}_{24}\text{OH}$	—	+
74	Ферротихит*	$\text{Na}_6\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_4(\text{SO}_4)$	+	—
75	Фосинаит*	$\text{Na}_3(\text{Ca}, \text{Ce})\text{SiPO}_7$	+	+
76	Хибинскиит*	$\text{K}_2\text{ZrSi}_2\text{O}_7$	+	—
77	Цирсиналиит	$\text{Na}_6\text{CaZrSi}_6\text{O}_{18}$	+	+
78	Шафрановскиит*	$\text{Na}_2\text{H}_2(\text{Mn}, \text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	+	+
79	Шкатулкалит*	$\text{Na}_{10}\text{MnTi}_3\text{Nb}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_6(\text{OH})_2\text{F} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	—	+
80	Шомиокиит*	$\text{Na}_3\text{Y}(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	—	+

*Минералы, открытые и изученные автором или при его участии.

месторождения редкометалльно-фосфатного сырья. Изучение Хибино-Ловозерского комплекса продолжается уже столетие, что нашло отражение в трудах нескольких поколений геологов, геохимиков и минералогов — В.Рамзая, А.Е.Ферсмана, Б.М.Куплетского, Н.А.Елисеева, К.А.Власова, Е.И.Семёнова, О.Б.Дудкина, Л.Н.Когарко и многих других. В результате детальных работ в пределах этого региона были открыты крупнейшие в мире место-

рождения апатита и редких металлов, в которых обнаружено рекордно большое число новых минералов. Благодаря всему этому рассматриваемые массивы приобрели широчайшую мировую известность и значение подлинно национального достояния страны.

Вслед за триумфальным открытием здесь участниками довоенных экспедиций Академии наук во главе с А.Е.Ферсманом плеяды необычных по составу минералов ученики и последо-



Динамика открытия новых минералов, утвержденных Международной минералогической ассоциацией (по Н.П.Юшкину, 1984, с добавлением данных Н.В.Пекова).

ватели первопроходцев успешно наращивали достижения предшественников. Это позволило им в сравнительно короткие сроки многократно приумножить количество новых минералов, установленных в каждом отдельном массиве и во всем комплексе в целом.

УНИКУМ СРЕДИ УНИКУМОВ

Полный список новых минералов, открытых в Хибинах и Ловозере, начиная с экспедиций финского геолога В.Рамзая (1890-е годы) по настоящее время, состоит из 114 видов, а всего в современный кадастр минералов этого комплекса внесено около 500 видов, что значительно больше, чем в любом другом массиве или месторождении мира, включая такие знаменитые, как Ильменские и Вишневые горы на Урале, Илимауссак в Гренландии, Сентилер в Канаде, Франклин в США, Лонгбан в Швеции или Цумб в Намибии (от 200 до 350 минералов в каждом). Отметим, что в 1937 г. в подготовленной под руководством А.Е.Ферсмана монографии³, впервые раскрывшей значение кольских массивов как уникальной рудной и минералогической провинции, полный список минералов насчитывал лишь 111 видов и разновидностей.

Если вернуться к собственно новым минералам, установленным при

изучении рассматриваемого комплекса, то в истории их открытия могут быть выделены следующие крупные периоды⁴: 1890—1941 гг. — 12 минералов: кальциевый ринкит (гётценит), лампрофиллит, ловозерит, лопарит, марганецнептунит, мурманит, нордит, титаноловентит, ферсманит, чинглузит, чкаловит, юкспорит; 1950—1969 гг. — 22 минерала: баритолампрофиллит, беловит, белянкинит, бериллит, беталомоносовит, виноградовит, власовит, герасимовскит, канасит, карнасуртит, когаркоит, куплещит, лабунцовит, ломоносовит, магнезиальный астропиллит, ненадковичит, сейдозерит, сферобертрандит, тугтупит, тундрит, фенаксит, щербаковит; 1970—1995 гг. — 80 минералов (см. табл.).

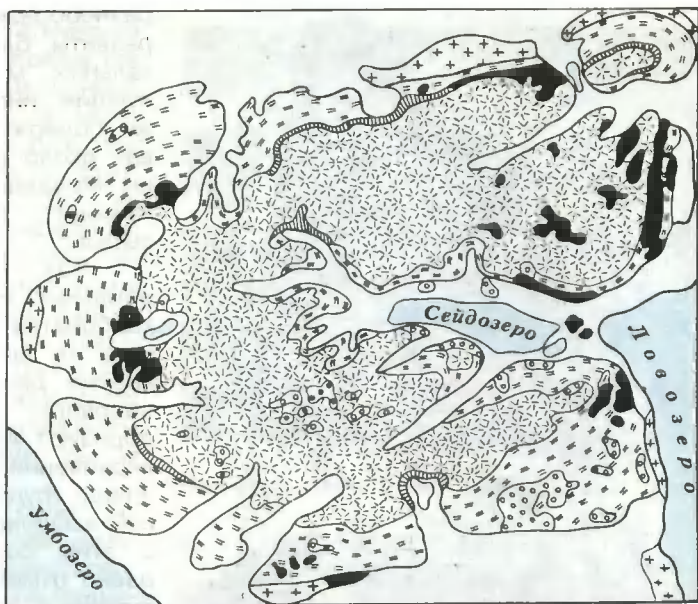
Таким образом, за последний 25-летний период вклад Хибино-Ловозерского комплекса в общую систему минеральных видов более чем удвоился. Что же определило получение столь весомого результата? Почти все перечисленные в таблице минералы были обнаружены в весьма специфических по составу и генезису горных породах, вскрытых на значительной глубине. Изучение этих пород показало, что они сформировались при экстремальных физико-химических условиях, которые широко использовались в технике при производстве различных материалов, но считались

³ Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. М., Л., 1937.

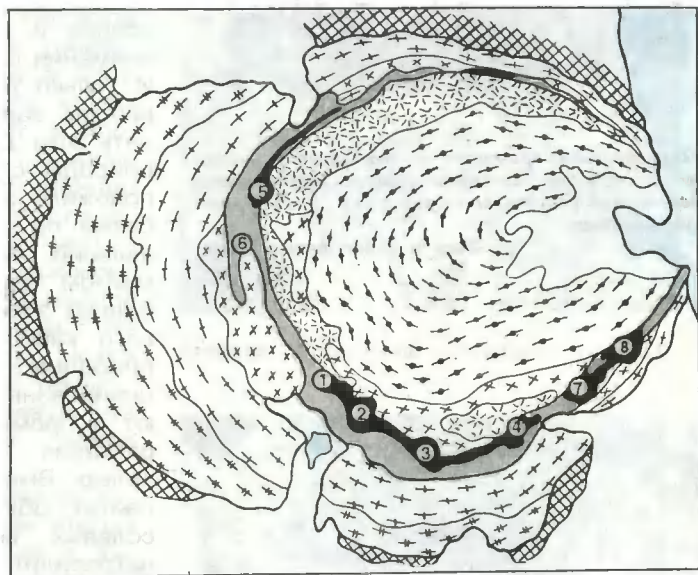
⁴ Из приводимых списков исключены названия некоторых недостаточно полно изученных и сомнительных минералов, а также названия, перешедшие в категорию синонимов.

Геологические схемы Ловозерского (вверху) и Хибинского массивов.

- Гнейсы
- Ксенолиты ловозерской свиты
- Современные отложения
- Содалитовые сиениты
- Породы дифференцированного комплекса
- Породы эвдиалитового комплекса
- Порфириновые лавариты



- Гнейсы
- Массивные хибиниты
- Трахитоидные хибиниты
- Рисчорриты
- Ийолит-уртиты
- Ловчорриты
- Фойяиты
- Апатит-нефелиновые породы и месторождения



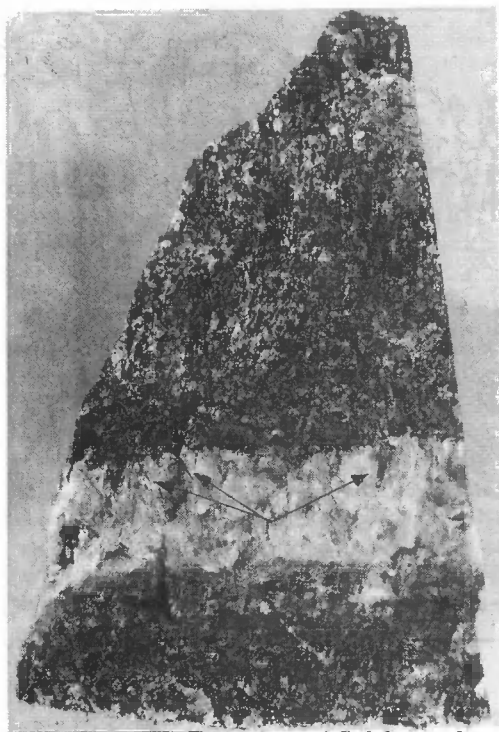
«запрещенными» для природных процессов.

УЛЬТРАЩЕЛОЧНОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОГО ВЕЩЕСТВА

В глубинных частях массивов, ниже зоны выветривания, установлено широкое распространение ультраагпаитов — особого типа уссингитовых,

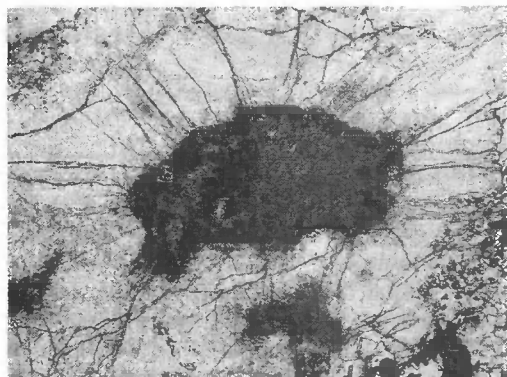
содалитовых и других пегматоидных пород с ранее неизвестными предельно щелочными минералами, которые легко разлагаются водой и поэтому не встречаются в обычных поверхностных условиях⁵. В наибольшей степени эти породы, отличающиеся чрезвычайным

⁵ Хомяков А.П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных пород. М., 1990.



Уссилгитовый прожилок в нефелиновом сиените с мелкими призматическими кристаллами фосинашита (показаны стрелками). В натуральную величину.

Здесь и далее фото автора



Концентрически-зональный агрегат хибинскита (в центре) и эвдиалита (по периферии). Увел. 55.

разнообразием минеральных видов, развиты близ фосфатных и редкометальных месторождений. Они — их лучшие индикаторы, которые к тому же содержат в повышенных количествах около половины элементов таблицы Менделеева, и сами могут явиться важным источником минерального сырья.

Так, открытие в этих породах обильных скоплений водорастворимых карбонатов натрия позволило выдвинуть их как новый перспективный тип крайне дефицитного в нашей стране содового сырья⁶. Карбонаты натрия образуют мириады тонких прожилков и вкраплений среди других минералов и очень трудно фиксируются из-за легкой выщелачиваемости водой. В связи с этим содовая минерализация, уже давно отмечавшаяся многими исследователями, ранее рассматривалась преимущественно как вторичная или сезонная и поэтому не заслуживающая внимания с практической точки зрения. И только детальные минералогические работы заставили в корне пересмотреть этот вопрос в пользу гипогенной природы содовой минерализации, что положило начало систематическим работам по поискам и оценке содопроявлений данного типа. Ключевым моментом явилось обнаружение в глубинных зонах массивов нового безводного карбоната натрия — натрита — природного аналога той самой «кальцинированной соды», которую получают в промышленных масштабах путем спекания известняка с поваренной солью. Вместе с натритом в ультраагпах обнаружено более 20 других солевых минералов, в том числе натросилит и олимпит — самые щелочные (из когда-либо встреченных в природе) представители силикатов и фосфатов.

При нормальных условиях эти соли легко растворимы в воде и дают резкую щелочную реакцию с фенолфталеином, а насыщенные ими сили-

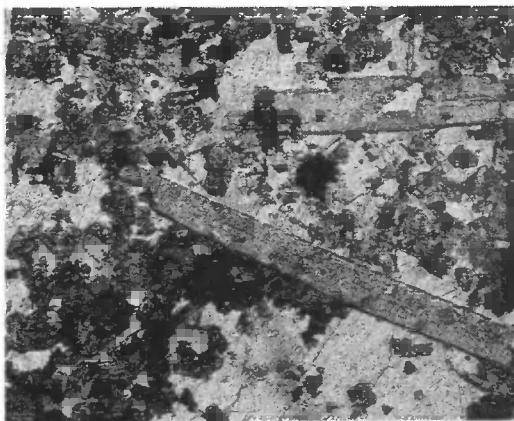
⁶ Хомяков А.П. Новый перспективный тип содового сырья // Природная сода и давсонитопроявления в СССР. М., 1985. С.62—79.

катные расплавы и надкритические водные растворы характеризуются чрезвычайно высокой реакционной способностью, используемой, в частности, в гидротермальном синтезе при выращивании кристаллов многих труднорастворимых соединений. До их открытия саму возможность выделения подобных солей в качестве кристаллических фаз горных пород было трудно предсказать на основе общепринятых представлений. В настоящее же время реальность существования натрита, натросилита и олимпита как природных магматогенных минералов подтверждена их повторными находками как в Ловозере, так и Хибинах.

Открытие этой группы солей на самом деле означает открытие неизвестного ранее явления — существования природного вещества в ультращелочном состоянии. В таком состоянии магматические расплавы-растворы приобретают свойства почти универсальных растворителей, что обеспечивает возможность накопления в них самых разнообразных рудных компонентов — фосфора, ниобия, тантала, циркония, редких земель. Это определяет гигантские размеры месторождений, связанных с агапитовым магматизмом, их необычный высококомплексный характер и чрезвычайно минералогическое разнообразие. Не случайно, почти весь прирост новых минералов этих массивов за последние 25 лет достигнут в результате изучения силикатно-солевых пород ультраагапитового типа.

Резюмируя сказанное, можно отметить, что наиболее крупным итогом минералогических исследований в Хибино-Ловозерском комплексе стало открытие рекордного для единой петрографической провинции числа новых минералов.

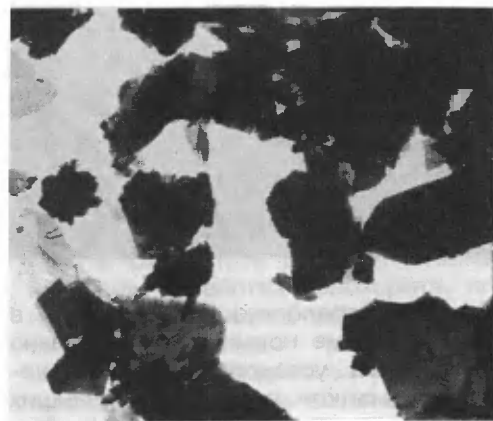
Но наряду с официально утвержденными там обнаружено и предварительно описано еще около 50 потенциально новых минералов, не сопоставимых по составу и свойствам с известными природными соединениями и представляющих собой задел, который обеспечивает возможность даль-



Пластинки вуоннемита в уссингите. Увел. 30.



Кристаллы казаковита в уссингите. Увел. 55.



Кристаллы ленковаксита. Увел. 7500.



Графические сращения водорастворимых минералов: глаукофана (темное) и термофилита (светлое). В натуральную величину.



Вкрапления натросилита (белый) в уссингите (бледно-сиреневый).

нейших минералогических открытий в будущем. Кроме новых и потенциально новых здесь установлено также несколько десятков редких и редчайших минералов, ранее не отмечавшихся на территории России или впервые встреченных в щелочных породах.

НОВЫЕ ФОРМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Среди новых минералов Кольского п-ова преобладают высокощелочные соединения фосфора (арктит, накафит) и редких элементов: лития (линтисит,



Сростки когаркита (голубой) и вишномита (темно-вишневый).

олимпит), бериллия (ловдарит), стронция (крофордит, ольгит), редких земель (лапландит, сажинит), циркония и гафния (хибинскит, умбит), тория (умбозерит), ниобия и тантала (борнеманит, соболевит). Их открытие резко расширяет представления о минеральных формах концентрации различных элементов в нефелиновых сиенитах и земной коре в целом.

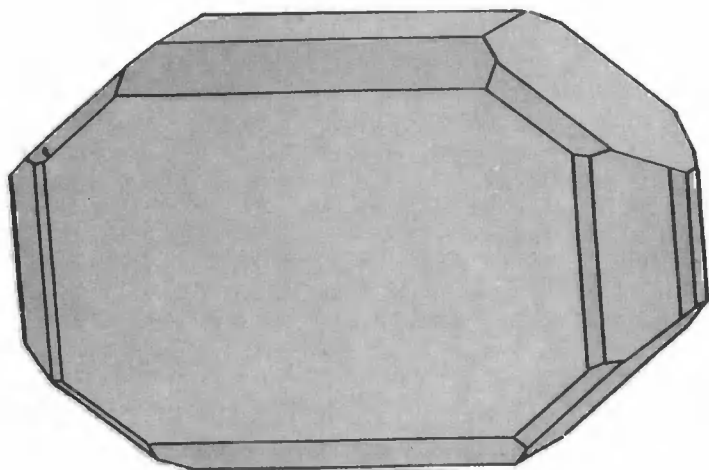
Некоторые из описанных минералов оказались родоначальниками новых типов соединений. Таковы водные цирконосиликаты калия (умбит и др.), открытие которых тем более примечательно, что долгое время их не удавалось синтезировать в лабораторных условиях. Уникальное положение в минеральном царстве заняли литосит и кальборсит, отличающиеся от всех известных щелочных алюмосиликатов самым высоким содержанием калия. Выявлены новые минералогические семейства силикатофосфатов (фосинаита), гидрофосфатов (настро-

фита), мангано-ферросиликатов (шафрановскита), существенно пополнены новыми представителями минералогические семейства келдышита, ловозерита, ломоносавита, илерита, канкрениита и бредлиита.

Данные о новых минералах вошли в справочные издания, курсы минералогии и широко применяются в учебном процессе, как и эталонные коллекции минералов, переданные ряду университетов и институтов, а также геологоразведочным экспедициям. Кроме того, они были использованы при формировании банков диагностических констант для автоматизированных систем определения минеральных фаз и при создании ряда справочников по типоморфизму минералов.

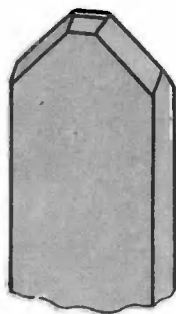
В результате экспериментального изучения семейства ловозерита, ломоносавита келдышита автором установлено неизвестное ранее явление сверхбыстрого гидролиза ультращелочных титано- и цирконосиликатов, объясняющее минералогическую зональность массивов нефелиновых сиенитов и существование в природе особой

Бонштедтит

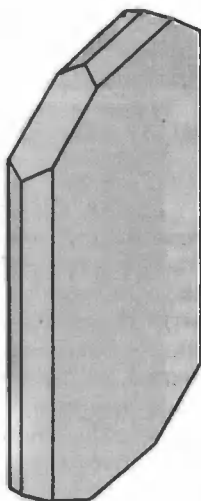


Формы кристаллов новых минералов.

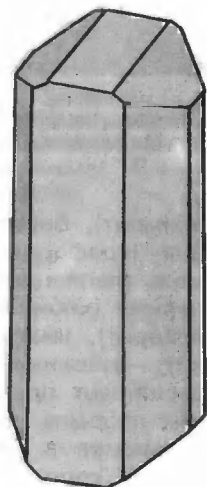
Ловдарит



Умбит



Костыловит



генетической группы — трансформационных минеральных видов (трансмнералов). В отличие от обычных минералов, способных кристаллизоваться из растворов или расплавов, трансминералы образуются исключительно путем изменения определенных соединений, от которых они наследуют основные особенности состава и структуры. В результате такого наследования возникают эволюционные ряды минералов: цирсинолит → ловозерит, ломоносовит → мурманит, вуоннемит → эпистолит, паракелдышит → келдышит и т.п.

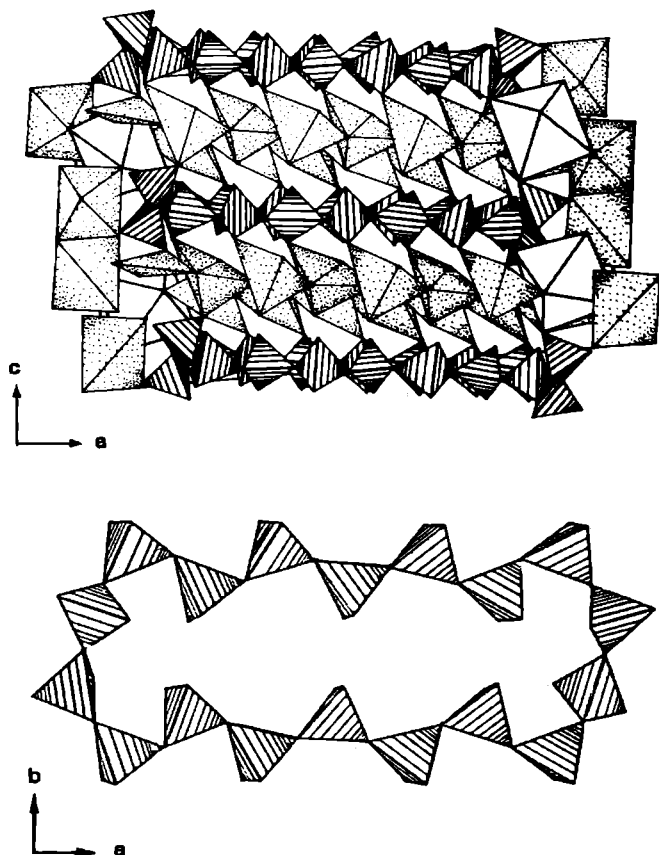
ВКЛАД В СТРУКТУРНУЮ МИНЕРАЛОГИЮ

Открытие большой группы новых минералов и проводимая параллельно с этим работа по изучению их внутреннего строения в значительной мере способствовали развитию структурной минералогии. Начиная с 1970 г. на минералах из Хибин и Ловозера расшифровано около 70 кристаллических структур. Результаты этих исследований существенно расширили представления о структурном разнообразии минерального мира и кристаллическом состоянии материи в целом. Они позволили, в частности, значительно увеличить список ранее неизвестных структурных типов и обогатить «инвен-

тарь» кристаллохимии большим числом кольцевых, цепочно-ленточных, слоистых и каркасных радикалов, таких как впервые установленные в силикатах каркас из трехчленных колец бериллиево- и кремнекислородных тетраэдров в ловдарите и уникальный по своим размерам 18-членный кремнекислородный циклорадикал в мегациклите. Характерным структурным элементом эвдиалитоподобного титаносиликата аллуайвита является 10-членная группа ($\text{Si}_{10}\text{O}_{28}$), соответствующая 9-членному кольцу (Si_9O_{27}) в эвдиалите.

Кристаллическая структура мегациклита

$\text{Na}_{16}\text{K}_2[\text{Si}_{18}\text{O}_{36}(\text{OH})_{18}] \cdot 38\text{H}_2\text{O}$, демонстрирующая расположение кремнекислородных тетраэдрических колец (линейная штриховка), натриевых (точечная штриховка) и калиевых (без штриховки) полиэдров (по Н.А. Ямной и др., 1992 г.); а, б, с — направления кристаллографических осей. Внизу: деталь этой структуры — кольцевой 18-ти членный кремнекислородный радикал.



Структура линтисита сочетает в себе некоторые черты строения лоренценита и виноградовита. Главная ее особенность состоит в том, что характерная для виноградовита лента (Si_4O_{10}) в структуре линтисита разорвана на две метаципочки, проложенные «стенками» из Li-тетраэдров и Na-октаэдров. Наличие в линтисите лития, не идентифицированного микрозондовым анализом, однозначно доказано рентгеноструктурным методом. Тем же методом присутствие лития установлено в олимпите, что позволило заменить его первоначальную формулу $\text{Na}_3(\text{PO}_4)$ на $\text{Na}_5\text{Li}(\text{PO}_4)_2$ и перевести олимпит в разряд редкометалльных минералов. Результаты структурных расшифровок позволили также предсказать и/или объяснить наличие у многих минералов (келдышита, ловдарита, пенквилк-

сита и др.) ярко выраженных ионообменных, молекулярно-ситовых и других технологически важных свойств, чем стимулировали постановку работ по синтезу аналогов природных минералов и использованию последних, например ловдарита, в качестве прототипов для создания новых материалов с заданными свойствами.

ВРЕМЯ СОБИРАТЬ КАМНИ

Возвратимся теперь к вопросу, поставленному в начале статьи, — о перспективах дальнейшего расширения системы минералов. Согласно А.Е.Ферсману⁷, ограниченность числа минеральных видов в земной коре на фоне астрономически большого числа

⁷ Ферсман А.Е. О числе минеральных видов // Докл. АН СССР. 1938. Т. 19. № 4. С.271—274.

теоретически возможных комбинаций химических элементов определяется сочетанием следующих главных условий — характером геохимического распределения элементов и сравнительно узким диапазоном температур и давлений минералообразующих процессов. С учетом этих и других ограничительных факторов вполне реальным еще недавно казалось приближение момента, когда открытие очередного нового минерала Земли сделается очень редким событием.

Однако последние годы ознаменовались, как никогда прежде, существенным пополнением минерального царства и внушительным — до 50 и более в год (в среднем по одному виду в неделю) — числом открытий новых минералов, регистрируемых Международной минералогической ассоциацией.

Кажущееся противоречие объясняется тем, что основным источником открытий новых фаз в настоящее время являются не рядовые, а минералогически уникальные природные объекты, сформировавшиеся, как и Хибинно-Ловозерский комплекс, в аномальных геотектонических и геохимических обстановках. Условия образования подобных горных массивов охватывают широкий диапазон вариаций температур, давлений, концентраций различных компонентов, а также таких важнейших физико-химических параметров среды, как кислотно-щелочной

и окислительно-восстановительный потенциал. Это практически снимает ограничение на разнообразие в них минеральных видов. С учетом отмеченных факторов автором выдвинута гипотеза об отсутствии естественного предела числа минералов, что открывает большие перспективы перед новыми поколениями минералогов.

Разумеется, большинство минералов, образующих весьма крупные кристаллы и зерна, уже давно открыты. Основная же часть еще не открытых представлена микровыделениями и может быть установлена лишь с применением высокоразрешающих приборов и методов. И хотя подавляющая их часть будет отнесена к минералогическим редкостям, изучение еще не описанных фаз представляет огромный интерес как с научной, так и с практической точек зрения. Среди будущих минералов безусловно окажутся носители и промышленных оружений, а также объекты с уникальной структурой и технически важными свойствами. Познавание этого огромного каменного мира приведет к существенному изменению современной системы минералов и, конечно, обогатит минералогическими данными различные отрасли как теоретических, так и прикладных наук.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 93-05-8694 и 96-05-64344).

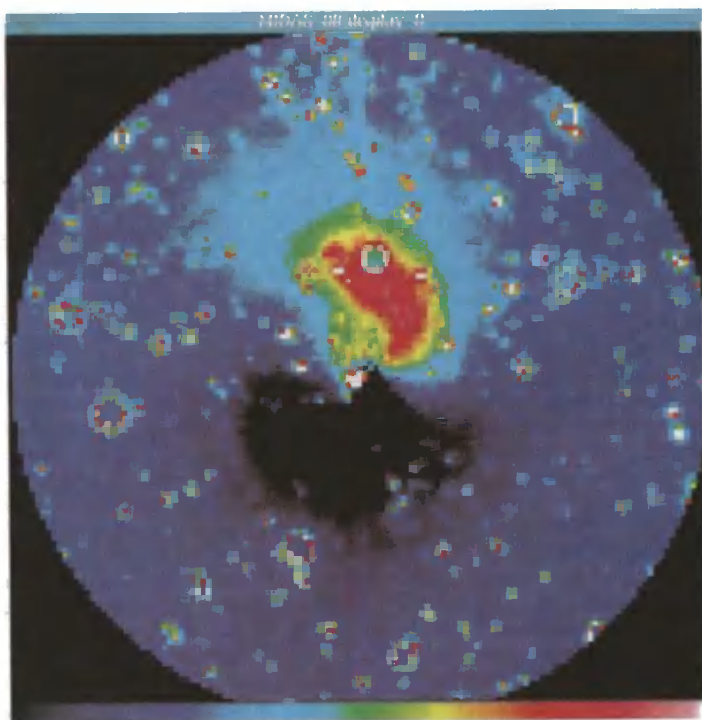
Комета Хейл-Бопп: ждем с нетерпением!

У астрономов, изучающих Солнечную систему, аврал: началась активная подготовка к прибытию в окрестности Солнца новой кометы — Хейл-Бопп, которая, вероятно, будет одной из ярчайших комет XX в.

Она была открыта в июле 1995 г. между орбитами Юпитера и Сатурна. И уже тогда, находясь на расстоянии 7 астрономических единиц от Солнца, имела видимый блеск 10.5 звездной величины. Если ее развитие пойдет по обычному для большинства комет сценарию, то, проходя в апреле 1997 г. на ближайшем расстоянии от Солнца, она будет иметь блеск не менее нулевой звездной величины, т.е. не уступит «фонарям» ночного неба, таким как Вега или даже Сириус.

В Европейской южной обсерватории (Чили) организована специальная группа астрономов для непрерывного слежения за новой кометой. Все, кто интересуется этим редким явлением, могут получить последнюю информацию через компьютерную сеть Internet (<http://www.eso.org/comet-hale-bopp/>).

The Messenger ESO. 1995. № 81. P.11.



Изображение кометы Хейл-Бопп в близком инфракрасном диапазоне, полученное на 1.5-метровом телескопе ЕЮО 31 августа 1995 г. Размер круглого поля зрения около 1 угловой мин. Внизу — шкала искусственных цветов, выражающих яркость. С помощью компьютерной обработки с изображения убраны яркие звезды и круглая кома вокруг головы кометы, чтобы лучше стал виден газовый выброс, с которого начинается формирование кометного хвоста.

Уроки землетрясения в Кобе

Б. И. Силкин

Геофизический центр РАН
Москва

ЯПОНЦЕВ подземными толчками удивить трудно. Ежегодно в стране их случаются тысячи; десятки и сотни ощущаются людьми, не вооруженными какими-либо приборами. Землетрясение в г.Кобе, начавшееся в 5 час. 47 мин. утра 17 января 1995 г., запомнится навсегда. И не только потому, что оно было сильным — магнитудой 6.9—7.2. В Кобе, крупном промышленном и портовом центре Японии на юге о.Хонсю с полутора миллионным населением, за один день погибло 5502 человека; около 37 тыс. было ранено; 45 тыс. зданий разрушено и примерно 170 тыс. повреждено — как самым толчком, так и возникшими вслед за ним пятнадцатью пожарами. За последовавшие 20 сут. отмечалось 1304 афтершока (повторные толчки), причем некоторые достигали магнитуды 5, так что пришлось срочно эвакуировать 310 тыс. жителей.

За прошедший с этого времени срок в научной и научно-популярной литературе появилось немало публикаций об этом землетрясении, на основе которых сделан настоящий обзор¹.

Известно, что Японский

архипелаг представляет собой типичную островную дугу. Другими ее примерами могут служить Курилы, Алеуты, цепочка островов в Карибском море. Японская островная дуга лежит в районе, где сходятся границы четырех гигантских плит: Евразийской, «ныряющей» под нее Филиппинской, Тихоокеанской и Северо-Американской. На последней плите расположены Камчатка, Чукотка и часть о.Сахалин, также являющиеся сейсмоопасными зонами.

Вечное движение этих плит, их наползание друг на друга, погружение одной, подъем другой создают напряжение в земной коре, которое может разряжаться толчками, если плиты соприкасаются. Чаше всего это случается там, где на поверхности или на небольшой глубине проходят разломы, также образовавшиеся при движениях плит.

На о.Хонсю разломов немало. Один из них — Нодзима представляет собой сдвиг, возникший в результате горизонтальных смещений плит относительно друг друга. Разлом пересекает островок Авадзи, находящийся в заливе Осака, на его берегу расположен одноименный город и многострадаальный Кобе.

Пройдя около 10 км вдоль северо-западного побережья острова, разлом продолжается на дне под проливом и затем выходит на поверхность о.Хонсю, где соединяется с разломами Сума и Суваяма, непосредственно подходящими к Кобе.

На территории Японии

существует около 2 тыс. более или менее активных в наше время разломов. Из них лишь 20 отнесены специалистами к классу «А», т.е. к таким, которые быстро смещаются на 1 м и более в тысячелетие. Но в эту «двадцатку» ни Нодзима, ни Сума, ни Суваяма не входят; здесь земная кора движется медленно, в среднем менее чем на 1 мм/год. Выше тысячелетия (а, возможно, и больше) здесь не случилось значительных сейсмических событий, единственное исключение — толчок в 1916 г. на разломе Нодзима; его магнитуда достигала примерно 6.

Сложилось мнение, что землетрясения магнитудой 6.5—7 происходят тут не чаще одного раза в тысячу лет. При этом полагали, что опасности для Кобе, Осаки и лежащей к северу древней столицы страны Киото в ближайшие века не существует.

Однако в январе 1995 г. земная кора разорвалась рядом с срединной (осевой) тектонической линией — прогибом земли, секущим с запада на восток край о.Сикоку и п-ов Кии о.Хонсю южнее Осаки. Крушение произошло под дном пролива, между Авадзи и Хонсю. Ранее считали, что Нодзима и другие небольшие разломы этого региона не имеют глубинных корней. К противоположному выводу пришел Х.Канамори, возглавляющий сейсмологическую

На шоссе Ханси рухнули опоры моста.

Фото из журнала «National Geographic» (1995. V.188. № 2).

© Силкин Б.И. Уроки землетрясения в Кобе.

¹ Smithsonian Institution Bulletin of the Volcanological Network. Wash. 1995. V.20. № 1. P.12—13; Geological Survey of U.S. National Earthquake Information Center. January 1995; New Scientist. 1995. V.145. № 1962, 1965; National Geographic. 1995. V.188. № 1. P.112—132.







Трещины, возникшие на о. Порт-Айленд.

лабораторию Калифорнийского технологического института в Пасадене (США).

Возникшая при разрыве волна побегала от подводного центра по трещинам во все стороны и мгновенно достигла Кобе, расположенного в 30 км. Вскоре после трагедии научный сотрудник Хиросимского университета Т.Наката обследовал район разлома Нодзима и нашел, что на 10 км его протяжения образовался свежий уступ, одна сторона которого поднялась на 1.5 м над другой.

Все же, учитывая сейсмичность Японии и других регионов «Огненного кольца», опоясывающего весь Тихий океан, это землетря-

У сравнительно новой постройки обрушился один из внутренних этажей.

Фотографии любезно предоставлены профессором Токийского университета (Токио) Х.Аоки

сение можно считать «умеренным». Однако произошло оно в области, где его не ожидали, и вдобавок слишком близко к одному из наиболее плотно населенных в мире районов.

Событие стало жестоким уроком для японских специалистов по сейсмостойкому строительству, гордившихся прочностью зданий, автострад и железных дорог. Между тем на полукилометровом отрезке скоростного шоссе Хансин — главной магистрали Кобе, пересекающей весь город с востока на запад, — все опоры виадука, возвышавшегося над улицей, рухнули, проезжая часть склонилась набок. Железнодорожное полотно, построенное для экспресса «Синкансэн» (скорость 250 км/ч) с учетом 8-балльной магнитуды, обрушилось в девяти пунктах.

В кобийском метро колонны на некоторых станциях обвалились, в стенах тоннелей появились трещины, шпалы вспучились. В

нескольких высотных служебных и жилых зданиях, больницах полы сложились «гармошкой», погубив немало людей. Материальные убытки оцениваются в 6 трлн. йен, а это — около 1.3% общего годового национального продукта Японии.

Сейсмолог Ф.Ямадзаки из Токийского университета, проанализировав все имевшиеся данные, определил размеры максимального горизонтального смещения грунта в момент землетрясения: оно вдвое превысило максимальную вертикальную компоненту. Между тем большинство сооружений этого района было построено так, чтобы они могли сохраниться при значительном вертикальном, а не горизонтальном смещении, чем и вызван столь большой масштаб разрушений. Действительно, интенсивность латерального (горизонтального) толчка в Кобе оказалась неожиданной. Сотрудник Токийского университета К.Исихара опреде-



Автомобили провалились в трещины на о. Порт-Айленд. Фото из журнала «National Geographic». (1995. V.188. № 1)

лил, что части о-вов Порт-Айленд (насыпной клочок суши в заливе Осака) и близлежащего Рокка сместились на 2–4 м, тогда как обычная величина смещения в подобных случаях не превышает 20 см.

Согласно мнению К.Ирикура (Киотский университет), события в Кобе похожи на землетрясение 1985 г. в Мехико, когда горизонтальные смещения были усилены сейсмическими волнами, отразившимися от более прочных глубинных пород. Город Кобе сильно пострадал и потому, что стоит на рыхлых осадочных породах: первичные волны отразились от прочных горных и увеличили продолжительность латеральных сотрясений грунта.

Причиной столь серьезных последствий была и неподготовленность населения к землетрясению, поскольку на памяти жителей этой части страны больших сейсмических толчков не было. В отличие от других районов Японии здесь не соблюдался обычай надежно привинчивать шкафы и другие крупные предметы к стенке. Никто не держал дома аварийных корзин с пищей, одеждой и аптечкой. В Кобе не укрепляли давно возведенные, стареющие сооружения. Хорошо еще, что землетрясение началось за 15 мин. до того, как тронулись в путь сверхскоростные поезда «Синкансэн».

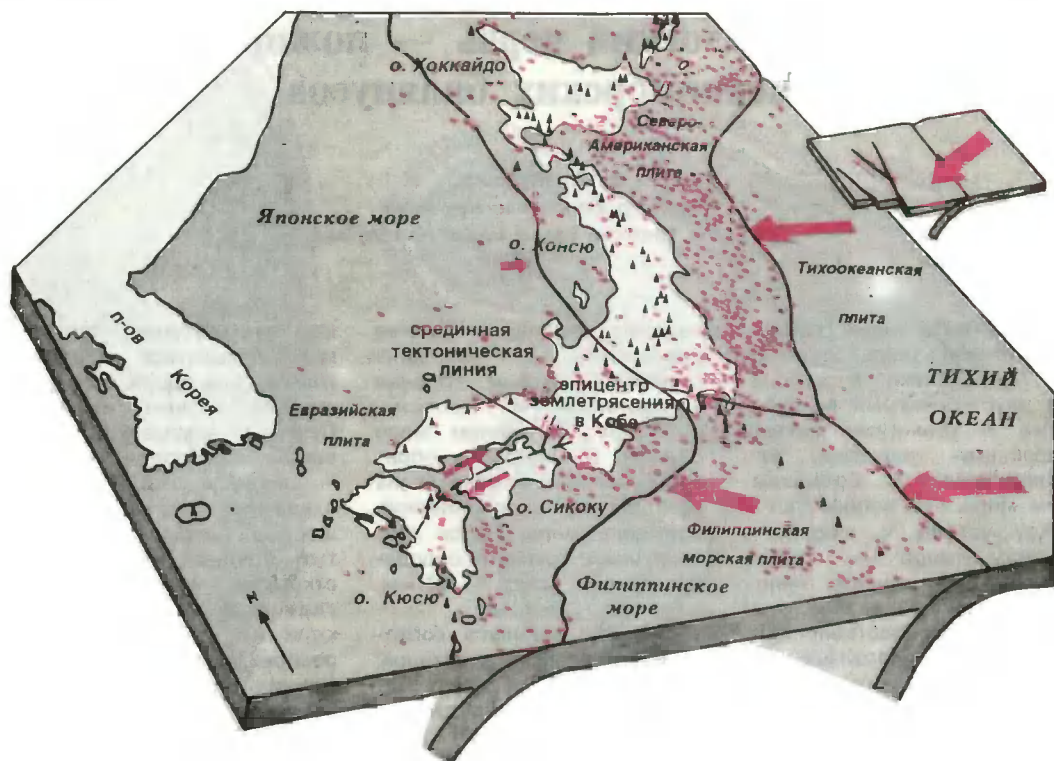
Правда, железнодорожное полотно и шоссе Хансин построены около 30 лет назад, когда нормы сейсмостойкого строительства в Японии были еще не такими строгими, как ныне. За прошедшее время они пересматривались в сторону

ужесточения пять раз — после новых сильных подземных толчков.

По нормативным требованиям с 1980 г. между горизонтальными стальными связями, усиливающими бетонные конструкции, было предусмотрено минимальное расстояние 10 см (раньше оно составляло 30 см). Чем протяженнее это расстояние, тем вероятнее, что при мощном воздействии здание сложится гармошкой.

Большая часть бетонных сооружений в Кобе, подвергшихся существенным повреждениям, была возведена до 1980 г. Однако сильно пострадало несколько более молодых домов, так что, возможно, строительные нормы придется теперь пересматривать заново.

Американский сейсмолог Р.Геллер, работающий ныне в Токийском университете, высказал подозрение, что подрядчики в некоторых



-  Эпицентры землетрясений
-  Вулканы
-  Направление движения плит

Схема расположения гигантских плит в районе Японской островной дуги, эпицентров землетрясений магнитудой 6 и более, вулканов, извергавшихся в последние 10 тыс. лет.

случаях «сэкономили» на стройматериалах, особенно, возводя казенные сооружения, а затем подкупили чиновников, принимавших постройки.

По любопытному совпадению, как раз в день кобийской трагедии на противоположном берегу залива, в Осаке, должен был открыться IV Японско-американский семинар по проблеме сокращения опасности от землетрясений. Без четверти шесть утра при-

бывшие из-за океана участники, ночевавшие в отеле, были разбужены сейсмическим толчком.

Семинар тут же отменили, и все его участники немедленно отправились на место происшествия. Масштабы бедствия поразили даже видавших виды калифорнийцев.

Проведенное экспертами первичное обследование сейсмостойкого строительства позволило заключить, что главной жертвой среди построек оказались традиционные дома с их слабыми деревянными щитовыми стенами и тяжелой черепичной крышей. Среди поврежденных «европейских» многоэтажных зданий большинство ныне действующим нормам просто не отвечает.

Современные высотные дома в основном сохранились хорошо, даже те, что

расположены на искусственном насыпном острове Порт-Айленд в самой середине залива Осака. Все сооружения здесь возведены на опорах; некоторые из них достигают длины 36 м и упираются в коренное морское дно, что придает им большую устойчивость. Мягкий грунт при толчке приобретал свойства жидкости, что очень опасно для сооружений, но опоры, выдержав, предотвратили погружение домов...

Кобе пережил трагедию. Стоимость полного восстановления города оценивается в 85 млрд. долл. Уроки этого землетрясения еще долго будут изучаться сейсмологами, геофизиками, тектонистами, специалистами по сокращению последствий стихийных бедствий и, конечно, экспертами в области сейсмостойкого строительства.

Хищный плоский червь — пожиратель черноморских баянусов

В. В. Мурина,

доктор биологических наук
Институт биологии южных морей НАН Украины
Севастополь

ПЛОСКИЕ черви (турбеллярии) рода *Stylochus* — хищники, питающиеся двустворчатыми моллюсками и усногими раками (морскими желудями, или баянусами). В Средиземном море они используют в пищу устриц и мидий, в Черном море — только баянусов, причем чаще всего самого массового и широко распространенного вида *Balanus improvisus*.

Тело усногих раков

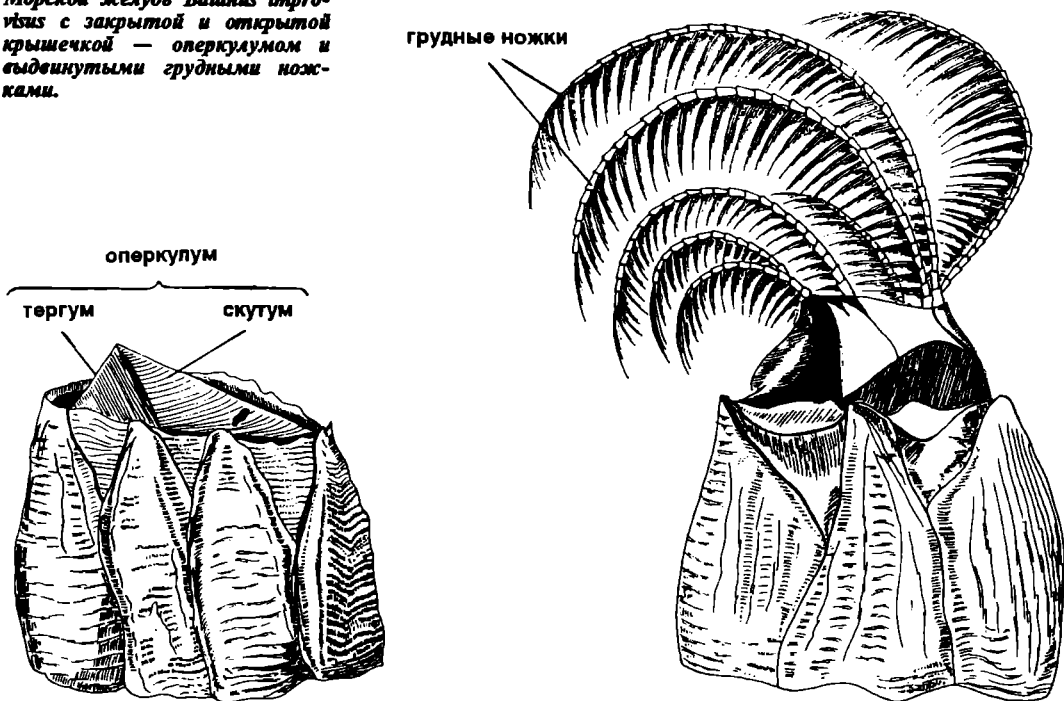
© Мурина В.В. Хищный плоский червь — пожиратель черноморских баянусов.

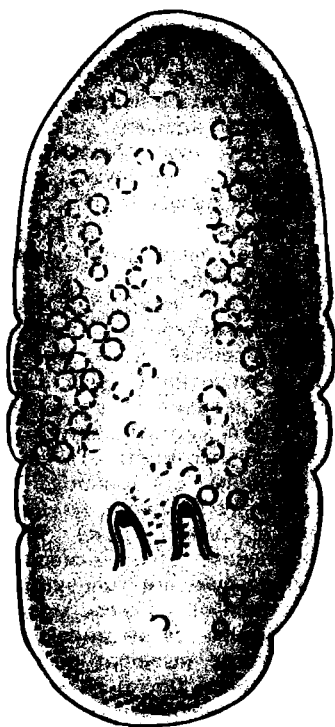
Морской желудь Balanus improvisus с закрытой и открытой крышечкой — оперкулумом и выдвинутыми грудными ножками.

надежно защищает толстая известковая раковина (домик), которая прочно прикреплена к жесткому субстрату. В Черном море баянус *B. improvisus* образует массовые скопления на твердых грунтах в прибрежной зоне моря. Рачок этот некрупный: диаметр основания домика всего 6—12 мм, а высота — 3—5 мм.

Домик баянуса состоит из нескольких пластинок, часть которых образует боковые стенки, другая — крышечку (оперкулум). Крышечка состоит из двух пар подвижных пластин — тергумов

и скutumов, которые могут смыкаться и размыкаться благодаря прикрепленным к ним мускулам. Скutumы закрывают домик сверху и спереди, тергумы — сверху и сзади. Грудной отдел тела рачка снабжен шестью парами двуветвистых грудных ножек. При открытых створках тесно сложенные ножки высовываются из домика и тут же расправляются как веер. Ножки усажены многочисленными щетинками, с помощью которых баянусы отфильтровывают из планктона пищевые частицы, а

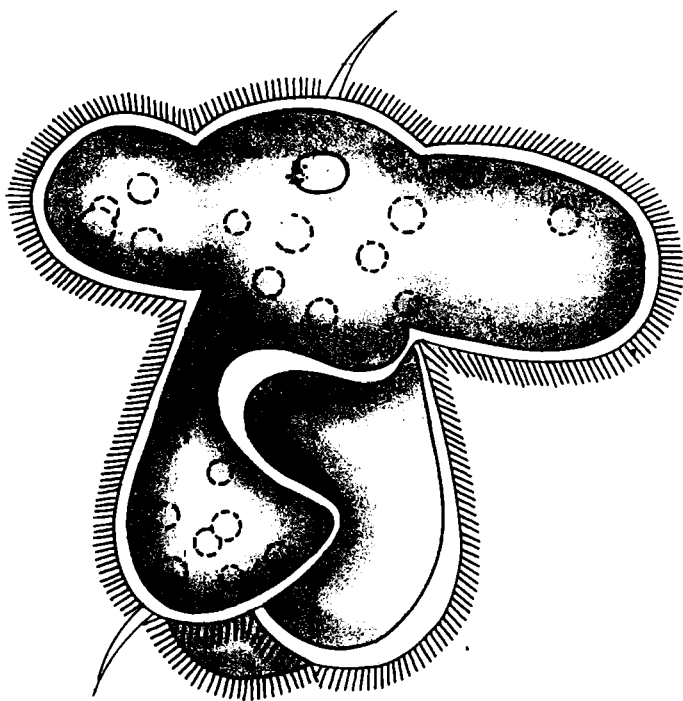




Черноморская турбеллярия
Stylochus tauricus.

кроме того щетинки служат им для дыхания и удаления из полости тела непереваренных остатков пищи.

Известно, что среди многочисленных (более 100) видов турбеллярий рода *Stylochus* четыре — питаются исключительно усоногими раками. Среди них — черноморский стилохус (*Stylochus tauricus*), впервые описанный в 1909 г. сотрудницей Севастопольской биологической станции Л.И.Якобовой по особям, найденным среди ракушек вблизи Севастополя. То, что черноморский стилохус поедает баянусов, обнаружил в 1979 г. И.К.Ржепишевский. Черноморский стилохус близок к средиземноморскому виду *Stylochus pilidium*, только гораздо мельче (черноморский — около 1,5 см, а средиземноморский — 7,5,



Пелагическая личинка турбеллярии — личинка Гетте.

см). Но средиземноморский стилохус питается в основном устрицами и наносит большой вред устричному хозяйству. В наиболее благоприятные для его развития годы он уничтожал в Адриатическом море до 90% молодых устриц. Он может поедать и мидий (*Mytilus galloprovincialis*). Самым эффективным методом борьбы с этой прожорливой турбеллярией оказалось погружение коллекторов с молодыми устрицами на несколько часов в воду с высокой концентрацией соли. Неплохой результат давала и обсушка коллекторов на 6—8 ч каждые две недели. При этом погибали черви, находящиеся вне моллюсков, — на веревках, пластинах коллекторов и раковинах. К счастью, черноморский стилохус не

представляет опасности для марикультуры.

Форма тела *S. tauricus* — удлинненно-овальная в движении и круглая в покое. Спина — серая или светло-желтая, брюшко — более светлое, почти белое. Замечательны органы зрения — они трех типов: щупальцевые, краевые и мозговые. Два высоких прозрачных щупальца, расположенные на спине в передней части тела, содержат каждый до 30 мелких черных глазков. Вблизи мозгового нервного ганглия по углам четырехугольника расположены мозговые глазки. Многочисленные крошечные краевые глазки узкой полоской окаймляют переднюю половину тела червя и — более редко — заднюю.

Стилохусы — гермафродиты. Весной и поздней осенью на спинах крупных (более 8—10 мм) особей

видны белые полупрозрачные овальные мешочки размером 0.6×0.4 мм, тонким прозрачным стебельком прикрепленные к спине червя в ее задней трети. В мешочках — масса подвижных змеевидных сперматозоидов длиной 0.025 мм и толщиной 0.003 мм. Оплодотворение у стилохусов перекрестное. Особь, функционирующая как самец, выделяет мешочки со спермой и прикрепляет его к другой особи, представляющей в это время половозрелую самку (они могут меняться ролями). Затем «самка» откладывает яйца. Кладка имеет вид плоской овальной пластинки и помещается в раковине съеденного турбеллярией баянуса. Число яиц в кладке зависит от размера материнской особи и может содержать до трех тысяч прозрачных круглых яиц диаметром 0.1 мм. Инкубационный период при температуре $17-18^{\circ}\text{C}$ длится 22—25 дней.

Турбеллярия, отложившая кладку, покрывает ее своим телом и как бы высиживает, аэрируя с помощью мерцательного эпителия своего тела воду в домике и охраняя кладку от нападения прожорливых инфузорий и прочих мелких хищников. Все это время заботливая «мама» голодает и не реагирует на предложенного ей живого баянуса. Такое добровольное голодание тем более удивительно, что стилохусы довольно прожорливы: взрослая турбеллярия длиной 6—14 мм за одну неделю может съесть двух-трех баянусов диаметром 8—12 мм. Продолжительность жизни стилохусов в эксперименте при регулярном (раз в неделю) питании около восьми месяцев.

Из яйца выплывает ли-

чинка овальной формы. В возрасте двух-трех дней у нее развиваются четыре полукруглые лопасти, темной окраски, зачаток мозга (ганглий) и два тонких жгутика — на переднем и заднем конце тела. Такая изящная личинка называется личинкой Гетте по имени описавшего ее автора. Густой покров ресничек, особенно хорошо развитый на боковых лопастях, позволяет личинке активно плавать, а глазки обеспечивают ей положительный фототаксис. Заметим, что взрослые черви, извлеченные из баянусов, избегают сильного освещения и активно переползают в затененную сторону аквариума со скоростью 32—96 мм/мин. На 8—9-й день жизни личинка оседает на дно и превращается в молодую турбеллярию.

Процесс захвата взрослым стилохусом добычи — морского желудя — мы наблюдали на турбелляриях, выдержанных две недели без пищи. Когда в кристаллизатор помещают живого баянуса, стилохус незамедлительно наползает на него сверху, закрывая своей брюшной стороной крышечку и лишая рачка возможности раскрывать створки. Затем хищник вытягивает хобот и запускает его кончик в место сочленения оперкулярных створок. Возможно, стилохус впрыскивает какую-то жидкость, парализующую жертву, и после этого выедает ослабевшие мускулы створок. Створки постепенно раскрываются и стилохус проскальзывает внутрь домика баянуса. С помощью хобота хищник постепенно высасывает содержимое тела своей жертвы, оставляя лишь кожистую мантию и покрытые хитином грудные ножки. Доев добычу, стилохус изгибанием спинной стороны тела выталкивает несъедобные части наружу.

Таким способом тур-

беллярия обеспечивает себе не только пищу и надежное укрытие от неблагоприятных погодных условий (взрослые стилохусы ядовиты, так что врагов у них практически нет), но и удобную колыбель для будущего потомства. Можно сказать, что тут готов не только стол и дом, но даже роддом.

У *B. improvisus* два пика размножения — весенний и осенний. Естественно, что и жизненный цикл стилохуса зависит от времени, когда его жертвы достигают высокой плотности. По наблюдениям В.А.Гринцова в районе бухты Ласпи (южный берег Крыма) даже при длительном (восьмимесячном) погружении коллектора с осевшими на нем молдыми баянусами стилохусы никогда не выедают рачков полностью. Да и численность хищников в 50 с лишним раз меньше, чем жертв. Потери от выедания турбелляриями баянусов постепенно компенсируются почти круглогодичным оседанием на коллектор ципри-совидных личинок *B. improvisus*.

Пока остается неясным, куда исчезают стилохусы зимой, когда температура воды в прибрежной зоне падает до $4-5^{\circ}\text{C}$. Возможно, взрослые турбеллярии уползают на глубины, где переживают низкую температуру в состоянии анабиоза, но может быть, взрослое поколение полностью отмирает, предварительно отложив кладку внутрь домиков съеденных баянусов и уже не охраняя их. При низкой температуре инкубация сильно растягивается до 1—1.5 мес. Личинки стилохуса опускаются на только что осевших молодых баянусов, и турбеллярии растут вместе со своими жертвами, переселяясь в более крупных подросших рачков.

Новый курган с мерзлотой на Алтае

В. И. Молодин,

член-корреспондент РАН,
доктор исторических наук

Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН
Новосибирск

ЛЕТОМ 1994 г. Западно-сибирский отряд Североазиатской комплексной экспедиции Института археологии и этнографии СО РАН продолжал археологические исследования на плоскогорье Укок¹, расположенном в юго-западной части Горного Алтая, на стыке границ Китая, Монголии, Казахстана и России.

Среди объектов, раскопанных под руководством автора, особый интерес представляет курган № 1 могильника Верх-Кальджин II. Этот археологический памятник расположен на правом берегу р. Кальджин (левого притока р. Ак-Алаха), в ее среднем течении. После расчистки насыпи кургана от дерна выяснилось, что это — невысокое уплощенное сооружение, близкое в плане к восьмиугольнику, с диаметром немногим более 11 м.

В центре сооружения находилась могильная яма. Она была обнесена каменной оградой из массивных валунов.

Погребальная камера имела правильную четырехугольную форму и была ориентирована с северо-востока на юго-запад. На дне ямы (глубиной 187 см от поверхности) сооружен трехвенцовый сруб из лиственничных бревен. Вертикально стоящие бревна изнутри аккурратно подтесаны; торцы сруба закруглены,



Вид заполненной льдом погребальной камеры после снятия с нее перекрытия. Верх-Кальджин II.

Фото В.П.Мыльников

что придает ему вид четырехугольной пирамиды с усеченной вершиной. Сруб был перекрыт толстыми лиственничными плахами и представлял собой, таким образом, достаточно герметичную камеру. После снятия с погребальной камеры перекрытия выяснилось, что она была полностью заполнена льдом.

Всю площадь сруба занимало обширное погребальное ложе — деревянная кровать на высоких, около

метра, ножках, на которой лежал умерший.

Благодаря мерзлоте в погребении сохранились предметы из дерева, ткани и войлока, представляющие большую художественную и историческую ценность.

В могиле похоронен мужчина примерно сорокалетнего возраста, имеющий, по определению антропологов, европеоидный облик. В черепе умершего сохранились кусочки мозга. Эта ткань передана нами в Институт цитологии и генетики СО РАН, где из нее выделена ДНК.

Покойник был положен в традиционной для местной пазырыкской культуры

© Молодин В.И. Новый курган с мерзлотой на Алтае.

¹ См.: Молодин В.И., Черемисин Д.В. Великолепные лошади блестящих скал Алтая // Природа. 1993. № 9. С.55—61.



Общий вид захоронения после оттаивания льда.



Деревянная бляха — украшение конской упряжи. Верх-Кальджин II.

Фото В.П.Мыльников

позе — на правом боку, в слабо скорченном положении, головой на северо-восток. Судя по одежде — меховому полушубку, — погребение, скорее всего, совершено зимой. Верхняя часть полушубка сшита из

меха сурка, а подклад — из овчины мехом вовнутрь. Полушубок имел распахной фасон и застегивался с помощью пояса, который украшали деревянные накладные бляхи; особенно интересны две массивные

четырёхугольные пряжки, фигурно оформленные и покрашенные черной (по краю) и красной (в центре) краской. Длинные рукава имели веревочные завязки для согревания кистей рук. По нижней части полушубка нашиты кисточки из окрашенного в малиновый цвет конского волоса. На коротких, чуть ниже колен, шерстяных штанах малинового цвета мы обнаружили следы штопки и заплаты: это свидетельствует о том, что одежда использовалась для повседневной носки.

На ногах — высокие сапоги-ботфорты, сшитые из тонкого белого войлока и украшенные тесьмой малинового цвета.

У покойника было три головных убора. На голову

надет войлочный высокий «шлем» с длинными ушами и острым верхом, украшенный птицевидным навершием и деревянной скульптурой лошади; еще одна деревянная фигурка лошади (или верблюда) прикреплена к боковой части «шлема»; голова этого животного увенчана ветвистыми рогами, покрытыми золотой фольгой. Второй убор — войлочный подшлемник, тоже с длинными ушами и плотно облегающим голову верхом, был свернут и подложен вместо подушки. За спиной умершего лежал третий головной убор, сшитый в виде колпака из двух кусков серого и малинового войлока и украшенный пучками малиновых кистей.

В области шеи найдена деревянная гривна с барельефным изображением кошачьих хищников, покрытых золотой фольгой.

Под шубой мы обнаружили массивный железный кинжал в деревянных ножнах с кольцевым навершием, прорезной рукоятью и брусковидным перекрестием, а также миниатюрный костяной гребень и зеркало в деревянной оправе и в войлочном мешочке.

На ногах умершего лежал колчан со стрелами, от которого сохранились деревянная накладная застежка. Все наконечники стрел, включая острия, целиком выполнены из дерева; лишь в одном случае наконечник был костяной, втульчатый с раздвоенным основанием. Здесь же, в ногах, обнаружен массивный железный чекан с бойком, оформленный в виде узколезвийного топорика с обушком. Прекрасно сохранилась длинная деревянная рукоять и застежка в виде клыка кабана для фиксации оружия на поясе.

Перед погребенным на ложе стояло деревянное блюдо с жертвенной пищей и железным ножом, а в специальной веревочной

подставке — три сосуда из дерева, рога и глины.

Под юго-западным углом сруба мы нашли войлочный мешочек с острыми ногтями человека, семенами и веревочками, навязанными узелками.

С северо-западной стороны погребения, между стенками могилы и сруба, лежали одна на другой две лошади. Нижняя была уложена на брюхо, головой на северо-восток, на подстилке из кусков курильского чая. На лошади сохранилось войлочное седло с растительным орнаментом, исполненным методом аппликаций. Набор деревянных блях в виде кабаньих клыков и сердцевидных накладок украшал узду (все это — красного и черного цветов). Красивы деревянные псалии (украшение упряжи), выполненные в форме головок лошадей; удила — железные.

Лежавший поверх нижнего другой конь сохранился значительно хуже. До нас дошли деревянные бляхи в виде головок лошади или грифона и оригинальные псалии с сильно стилизованными головками грифонов, прикрепленными к бронзовым удилам.

Культурная принадлежность исследованного кургана не вызывает каких-либо сомнений: она безусловно пазырыкская. Об этом свидетельствуют как погребальный обряд, так и большинство обнаруженных предметов — классических для пазырыкской культуры². В комплексе вместе с тем присутствует ряд вещей, которые позволяют датировать его завершающей стадией этой культуры, т.е. II в. до н.э. Мы имеем в виду железный кинжал с прорез-

ной рукоятью, кольцевым навершием и брусковидным перекрестием, а также костяной втульчатый наконечник стрелы с раздвоенным насадом. В пользу предлагаемой датировки говорят крупные, почти четырехугольные поясные бляхи, типичные уже для гуннского времени. Наконец, позднюю дату комплекса подтверждают стилистические особенности предметов искусства, которые отличаются от классических пазырыкских некой условностью трактовки образа и нарочитой небрежностью.

Чрезвычайно важна для датировки и находка войлочной шапки-колпака с высоким острым верхом, которая по фасону не похожа на классические для пазырыкской культуры головные уборы, зато имеет точные аналогии в комплексе гуннского времени, происходящем из кургана Ноин-Ула в горах Монголии³. Последнее обстоятельство может свидетельствовать не только о позднепазырыкской датировке памятника, но и о культурных контактах между обитателями юга Горного Алтая и Центральной Азии.

Таким образом, верхкальджинское захоронение как бы замыкает на Укоке ряд курганов с мерзлотой, относящихся к пазырыкской культуре и исследованных Н.В.Полосмак⁴. Вместе с тем этот памятник имеет большое научное значение, поскольку по существу смыкается со следующей, гуннской эпохой, таящей массу проблем и загадок, которые еще предстоит решить.

³ Руденко С.И. Культура хуннов и Ноингулинские курганы. М.; Л., 1962; Haussing H.W. Archäologie und Kunst der Seidenstrasse. 1992. S.74.

⁴ Polos'mak N. // Arts Asiatiques. T. XLVI. Paris, 1991. P. 5—13; Полосмак Н.В. Феномен алтайских мумий // Природа. 1995. № 11. С.71—85.

² См., напр.: Руденко С.В. Культура населения Центрального Алтая в скифское время. М.; Л., 1960; Кубарев В.Д. Курганы Уландрыка. Новосибирск, 1987.

Происхождение и эволюция домашних кур

И. Г. Моисеева,

кандидат биологических наук

М. Г. Лисичкина,

Институт общей генетики имени Н.И. Вавилова РАН
Москва

НАРАСТАЮЩЕЕ сокращение видового разнообразия жизни сейчас общеизвестно: ежегодно из 45 тыс. видов позвоночных животных, обитающих на Земле, вымирает от 3 до 5 видов. Потери генетических ресурсов сельскохозяйственных животных еще ощутимее: по данным ФАО, каждую неделю исчезает одна порода.

Продолжая тему «Красной книги домашних животных», начатую в «Природе»¹, мы хотим познакомить читателей с уникальными породами кур и историей их создания.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Литература о происхождении домашних кур — их диких предках, времени и месте domestikации — крайне противоречива: даты одних и тех же событий у разных авторов отличаются на сотни и даже тысячи лет.

Фундаментальные исследования Ч.Дарвина по происхождению домашних кур, тщательное сравнение их с четырьмя дикими видами (*Gallus bankiva*, *G. sonneratii*, *G. stanleyii*, *G. varius*; наименования по Дарвину) показали, что все породы произошли от одного вида — банкивской курицы². Систематика вида *G. gallus* у разных авторов не совпадает. Так, банкивскую

курицу Дарвин, как и многие другие авторы, относил к разряду вида. Однако в современном труде по систематике птиц³ она значится одним из пяти подвидов *G. gallus* (другое устоявшееся название: красная курица джунглей — *Red Jungle Fowl*). Судя по приведенному Дарвином ареалу распространения *G. bankiva*, он подразумевал под ним вид *G. gallus*.

С выводом Дарвина о монофилетическом происхождении домашних кур соглашались многие крупные специалисты⁴, хотя высказывались и сомнения. Однако все ученые сходятся в том, что основной предок домашних кур — вид *G. gallus*.

Дикие куры обитают в Индии, на Цейлоне, островах Малайского архипелага, в странах Индокитая и южной части Китая. Вид *G. gallus*, в частности, распространен на северо-востоке Индии, в Бирме, Таиланде, во Вьетнаме, в южной части Китая, на островах Суматра и Ява, Малайзии. Дикие куры принадлежат к эндемичным видам, и в других частях света и географических областях они не обнаружены.

Как полагали до недавнего времени, первые сведения об одомашненных курах относятся к III тысячелетию до н.э. Так, судя по археологическим раскопкам в районе городов Хараппа и Мохенджодаро, расположенных в долине Инда (современный Пакистан), где были найдены остатки куриных костей, фигурки и печати с изображением кур, они находились уже в одомашненном состоянии примерно в

© Моисеева И.Г., Лисичкина М.Г. Происхождение и эволюция домашних кур.

¹ Столповский Ю.А. Красная книга домашних животных // Природа. 1993. № 2. С.32—39; Иванова З.И., Столповский Ю.А. Аборигенный якутский скот // Природа. 1993. № 12. С.42—46; Глазко В.И., Тарасюк С.И., Столповский Ю.А. Бурая карпатская порода крупного рогатого скота // Природа. 1995. № 4. С.59—64.

² Дарвин Ч. Изменение домашних животных и культурных растений / Под ред. Е.Н.Павловского. М.; Л., 1951.

³ Howard R., Moore A. A complete checklist of the birds of the world. Oxford, 1980.

⁴ Иванов М.Ф. Породы сельскохозяйственной птицы. М., 1924; Серебровский А.С. Происхождение домашних животных. Л., 1934; Петров С.Г. Происхождение и эволюция сельскохозяйственной птицы // Сельскохозяйственная птица. 1962. Т.1. С.125—144.

3250 г. до н.э.⁵ В китайской энциклопедии 1609 г. на основе древних документов сообщается, что домашние куры существовали в Китае примерно в 1400 г. до н.э. и указывается, что куры попали туда с запада⁶.

Однако некоторые исследователи на основании археологических находок указывают, что в Китае кур «приручили» на столетия раньше начала развития древнейшей индийской цивилизации.

Одно из самых древних изображений петуха, датированное 1840 г. до н.э., найдено в Египте, в храме близ Фив. В это время торговые пути связывали Египет, Месопотамию и Индию. Дальнейшие древние свидетельства о том, что египтяне знали домашних кур, относятся ко времени царствования Тутмоса III (1525—1473 гг. до н.э.): сохранился рисунок головы петуха на стене гробницы визиря Рекмары, в сцене подношения даров из Кефтиу (современный Крит). Еще одно подтверждение — рисунок петуха на черепке, найденном близ гробницы Тутанхамона⁷, захоронение которого датируется 1338 г. до н.э.

В Средиземноморье они появились примерно в VIII—VI вв. до н.э., сначала в Древней Греции, затем в Риме. Об этом свидетельствуют изображения на древнегреческих монетах и вазах, изготовлявшихся в Халкиде, Коринфе и Лаконике. В центральной Европе, к северу от Альп, домашние куры появляются лишь в начале нашей эры. Мозаичное изображение петуха (принадлежит коллекционеру Баррелу, Великобритания), относящееся к I в. до н.э., найдено на территории Римской империи.

Анализируя историю и пути распространения домашних кур, Р.Д.Кроуфорд приходит к выводу, что раннее появление их в Египте и на о-ве Крит было случайным (как, возможно, и в других частях земного шара) и потому в дальнейшем не привело там к развитию высокой культуры птицевод-

ства и созданию своих типов кур.

Как уже упоминалось, имеются разные точки зрения на время и место происхождения домашних кур. Так, во многом не совпадают с изложенным сведения Б.Вест и Б.-С.Жу⁸, собравших огромный материал (в основном остеологический). Они проанализировали не только опубликованные работы, но и походные дневники и журналы археологов и палеозоологов, в которых содержались данные о ранних находках домашних кур. В результате этих изысканий они обнаружили, что в Китае упоминаются 18 местонахождений с костными остатками кур (примерно 5935—1470 гг. до н.э.) и 71 — в других странах (VI тысячелетие до н.э. — I в. н.э.). В Европе самый древний остеологический материал найден на территориях современных Румынии (6000—3000 гг. до н.э.) и Греции (4000—3000 гг. до н.э.), на Украине (4000—2500 гг. до н.э.); в Азии — Иране (3900—3800 гг. до н.э.), Турции (2600—2300 гг. до н.э.), Сирии (2400—2200 гг. до н.э.), на Алтае (500 г. до н.э.), в Мохенджодаро авторы датируют находки 2000 г. до н.э. Помимо костных остатков, в исследовании были привлечены климатические данные и особенности растительного покрова. На основе этих сведений ученые полагают, что центром происхождения следует считать юго-восточную Азию (время domestikации кур примерно VIII тысячелетие до н.э.). В Индию куры могли попасть из Китая или быть одомашнены независимо и позднее, чем в юго-восточной Азии. Следовательно, по мнению авторов, время domestikации кур отодвигается примерно на 5 тыс. лет, появление домашних кур в Европе — на 5—2 тыс. лет назад по сравнению со сведениями, приведенными в начале статьи, а местом domestikации следует считать не долину Инда, а Юго-Восточную Азию.

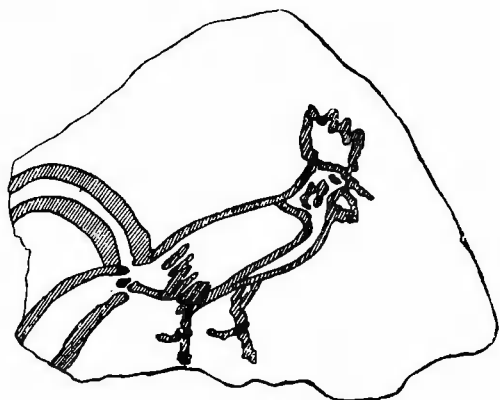
Не будучи специалистами в области палеозоологии, мы затрудняемся комментировать этот материал. Однако с общих позиций возникают некоторые сомнения в таких выводах, поскольку

⁵ Wood-Gush D.G.M. A history of the domestic chicken from antiquity to the 19th century // Poultry Science. 1959. V.38. P.321—326.

⁶ Дарвин Ч. Цит.сов.

⁷ Crawford R.D. Domestic fowl // Evolution of domesticated animals. London; New York, 1984. P.298—311.

⁸ West B., Zhou Ben-Xiong. Did chicken go north? New evidence for domestikation // World's poultry Science Journal. 1989. V.45. P.205—218.



Древнейшие изображения петухов: на черепке, найденном близ гробницы Тутанхамона, XIV в. до н.э. (вверху); на щитах греческих воинов (в середине); на халкидской вазе, VII—VI вв. до н.э. (внизу). (По Петрову С.Г., 1962.)



ЭВОЛЮЦИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ

С момента приручения кур их селекция шла в разных направлениях и привела к множеству самых разнообразных форм. В этом отношении ни один вид домашних животных не может сравниться с курами, за исключением, пожалуй, собак. Ведь именно куры и собаки дали Дарвину богатейший материал для обоснования изменчивости видов в дикой природе.

В комментариях С.Г.Петрова к книге Дарвина «Изменения домашних животных и культурных растений» читаем, что у кур известны следующие вариации основных признаков: три типа оперения ног; четыре цвета окраски кожи; четыре резких скелетных изменения; пять структурных изменений перьев; 10 форм головных украшений; 20 окрасок оперения; различия в конфигурации туловища и массы тела (от 400 г до 4,5 кг); несколько тонов и разная продолжительность пения; различия в драчливости петухов, скорости оперяемости, окраске и величине яиц, яйценоскости и инстинкте насиживания, качестве мяса. К этому можно еще добавить четыре различные пигментации радужной оболочки глаз и окраски мочек; изменчивость в величине гребня, сережек и мочек, в величине и окраске клюва; два состояния оперенности шеи; шесть окрасок плюсов; различия в числе пальцев (существуют четырех- и пятипалые породы) и шпор (от их отсутствия до пяти на каждой ноге), в длине хвоста (существуют бесхвостые породы), качестве яиц (содержание плотного и жидкого белка, липидов,



Века до н.э.	о. Эвбея	г. Дарданус	о. Сицилия
VII			
VI			
V		 	  
IV	   		
III			 

Древнегреческие монеты с изображениями петухов (по Петрову С.Г., 1962).

витаминов, холестерина и других веществ) и их форме (круглые, удлиненные и обычные); отличия в физиологических признаках (возраст наступления половозрелости, различия в «оплате» корма и др.). Здесь перечислены только нормальные проявления признаков; изменчивость, связанная с

летальными и полуметальными мутациями, с патологическими отклонениями не включена в данный список. Последние достижения генетики свидетельствуют о наличии значительного полиморфизма наследственных вариантов белков различных тканей и длин рестрикционных фрагментов ДНК.

Широкое разнообразие морфологических, физиологических, биохимических и генетических признаков у кур

встречается как на уровне индивидуумов, так и пород, но с разной степенью изменчивости: в первом случае она значительно ниже, чем во втором. Многие признаки служат отличительными свойствами пород и разновидностей кур и потому входят в стандарты пород (особи в пределах породы по этим признакам не отличаются друг от друга).

Несмотря на существование такого разнообразия признаков и форм у домашних кур, специалисты выделяют среди них по внешнему виду всего пять основных типов: **яичный** (иногда его называют средиземноморским, или европейским), **тяжелый мясной** (считается азиатским), **мясо-яичный** (промежуточный между яичным и мясным), **бойцовый** (преимущественно азиатский) и **декоративный**, в него входят бентамки, шелковые, длиннохвостые и другие куры, часто также азиатского происхождения.

Сравнение этих типов кур с диким видом — красной курицей джунглей — показало, что последний наиболее близок по морфологическим, генетическим и другим особенностям к средиземноморскому типу пород, в частности, к леггорну бурому. Но куры средиземноморского типа географически удалены от центра доместикиции, в то время как куры азиатского типа, значительно отличающиеся от дикой формы, находятся в его центре или близ него. Отсюда возникает вопрос: почему средиземноморский тип оказался ближе по своим характеристикам к дикому предку, нежели азиатский? Встает и другой вопрос: какие направления хозяйственного использования домашних кур были самыми древними?

В исследованиях, проведенных в лаборатории сравнительной генетики животных нашего института, была предпринята попытка ответить на первый вопрос. Среди кур азиатского происхождения выявилось значительное разнообразие морфологических форм. Некоторые породы древнего происхождения оказались близки по типу и к дикому виду *G.gallus*, и к средиземноморским породам. Следовательно, можно предположить, что в древние времена куры, близкие по типу к современным средиземномор-

ским породам, были вывезены из Азии в Средиземноморье.

Ответить на второй вопрос помогают литературные источники. Все специалисты, занимающиеся историей использования домашних кур в жизни человека, сходятся в том, что на заре доместикиции куры не служили источником пищи (в Индии примерно в I тысячелетии до н.э. даже был закон, запрещающий есть куриное мясо). Тогда человек обратил внимание на агрессивное поведение петухов, их склонность к постоянным дракам между собой. Эти свойства петушиного характера отвечали наклонностям человека бронзового века (конец IV — начало I тысячелетия до н.э.), поскольку его жизнь состояла из постоянной борьбы за существование, в которой выживает и побеждает сильнейший. Именно поэтому с древних времен бойцовый спорт распространился во многих регионах — в Индии, странах Индокитая, Малайского архипелага, Древней Греции, Римской империи, позднее в Средней Азии, Южной Америке.

Для стран с разными культурными традициями характерны свои направления селекции бойцовой птицы и формы проведения петушинных боев. В каждой стране, даже в каждой местности создавалась своя бойцовая порода; отсюда и большое разнообразие пород этого направления.

У древних греков петушине бои были излюбленной развлекательной игрой, особенно в Афинах, где со времен персидских войн (V в. до н.э.) в театре Диониса устраивались публичные бои.

Петух как символ состязания и победы изображался на щитах воинов, а также на больших сосудах, которые преподносились победителям во время празднеств.

В Европе в средние века и позже бойцовыми породами кур славилась Англия (английский бойцовые породы старого и нового типа), Бельгия (бельгийская бойцовая) и Россия (многочисленные разновидности московской бойцовой породы).

В средние века в Англии школьники во время зимне-весенних каникул устраивали петушине бои, которые часто проходили в церковных зданиях.

До начала XIX в. в английском парламенте имелось специальное место для финальных состязаний петушиных боев. Вероятно, таким образом парламентарии снимали собственную агрессию. (Может, этот способ разрядки напряженной обстановки пригодился бы и нашему парламенту?)

Интересна возможная версия происхождения слова коктейль (cocktail), дословно означающего «петушинный хвост». В Англии существовал обычай после петушиных боев пить смесь напитков, состоящую из стольких ингредиентов, сколько оставалось перьев в хвосте у победившего петуха⁹.

Люди стали использовать домашних кур и в культовых служениях и обрядах, где им отводилась роль вещей птицы. В зороастрийской литературе Ирана (2000—700 гг. до н.э.) находим сообщения о том, что петух в те времена считался предвестником зари, своим криком он будил людей и призывал к созидательной работе. В сочинениях древнеримских писателей — Вергилия (70—19 гг. до н.э.), Плиния Старшего (23 или 24—79 гг.) сообщалось о том, что крик петуха, по мнению людей, содержал разного рода знания и предсказания. Кур и петухов часто приносили в жертву, а в некоторых странах их считали священными птицами и содержали при храмах. Прорицатели Древней Греции и Рима использовали петухов для предсказаний судьбы и грядущих событий: на земле чертили буквы алфавита, на каждую помещали зерно. Затем пускали петуха и следили, какие буквы он «склеивает», и из них составляли пророческие фразы.

В древнем Китае петух ассоциировался с солнечным символом «ян», ему приписывалась способность избавлять от грабителей, приносить в дом богатство, счастье и указывать время. Этим объясняется важная роль петуха в китайской символике и орнаментах — традиционные рисунки на китайских тканях под названиями «кричащие петухи», «изогнутые перья петушиного хвоста» и другие куриные темы. Изображение петуха, поющего

на барабане, считалось символом мира. Вообще вся петушиная символика в Китае имела благожелательный смысл¹⁰.

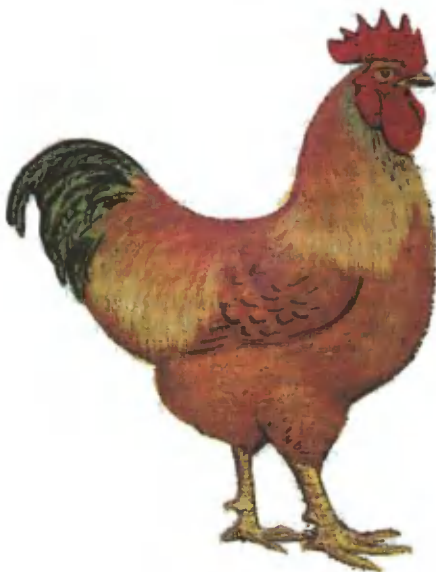
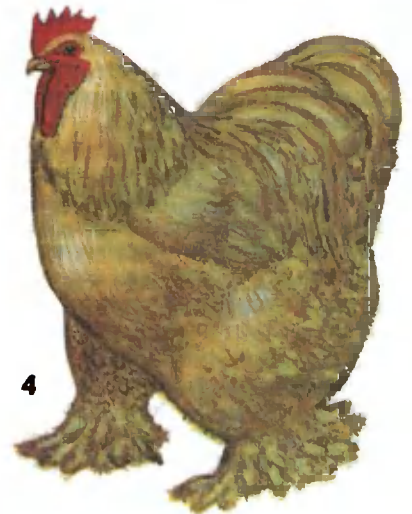
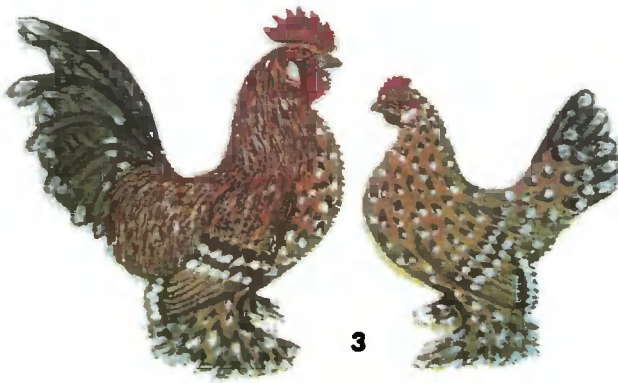
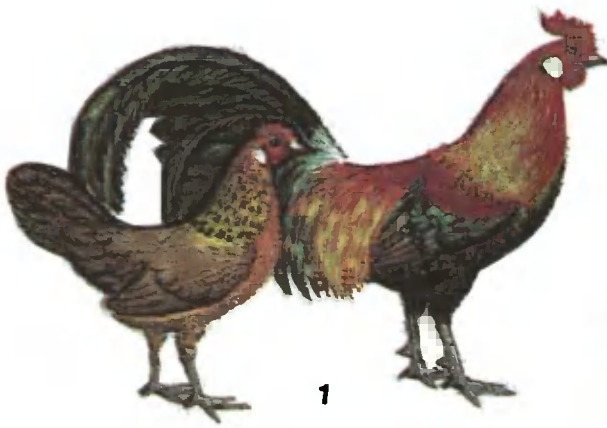
Естественно, что священная птица должна была привлекать взоры своим внешним видом и обладать красивым голосом. Это дало начало декоративному направлению в птицеводстве и спорту петушиного пения. Так появились многочисленные породы бентамок, многие из которых удивительно красивы и напоминают ярких бабочек или букет пестрых цветов (в России в XVIII в. были созданы очень красивые павловские куры). Юго-Восточная Азия и Япония славятся длиннохвостыми породами кур (феникс, суматра, иокогама и др.), у которых длина петушиного хвоста может достигать 10 м.

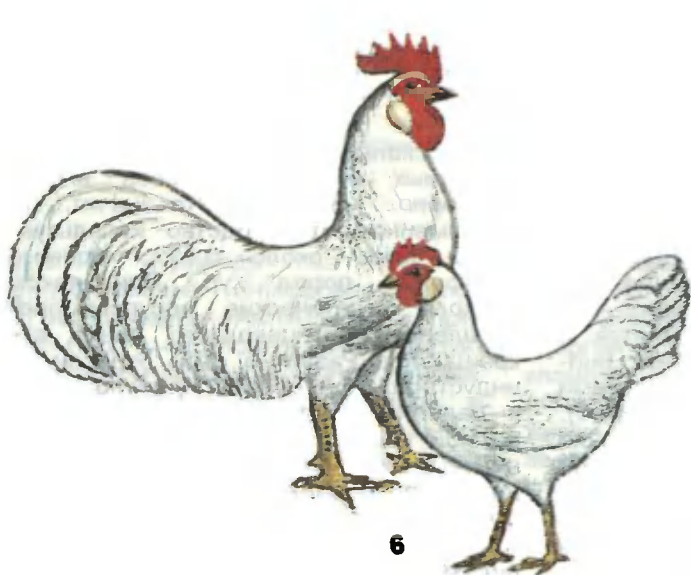
Спорт петушиного пения до сих пор распространен в самых разных частях земного шара. В Японии, Греции, Албании, Бельгии существуют по несколько пород, различающихся пением петухов. В России издавна разводятся юрловские голосистые куры, способные держать ноту до 25 сек, а в Турции выведена птица, пение петухов которой может продолжаться до 30 сек. В Германии известна порода «горный певец», обладающая низким, с особыми модуляциями, голосом, способная выводить протяжную и меланхоличную песню. Очевидно, в каждой из этих стран самостоятельно, путем соответствующего отбора создавались петухи-певуны.

Развитие птицеводства как специальной отрасли сельского хозяйства и как науки, утилитарное использование домашних кур в качестве источников мяса и яиц относится к периоду расцвета греко-римской культуры. Многие римские писатели оставили обширные труды по птицеводству, свидетельствующие о высоком уровне его развития. Так, в трудах Колумеллы (12 томов), писателя и агронома I в., находим советы по инкубации, методам селекции, кормления, содержания, откорму, выбраковке, контролю за болезнями, даже советы по маркетингу и ценовой политике. Он упоминает о

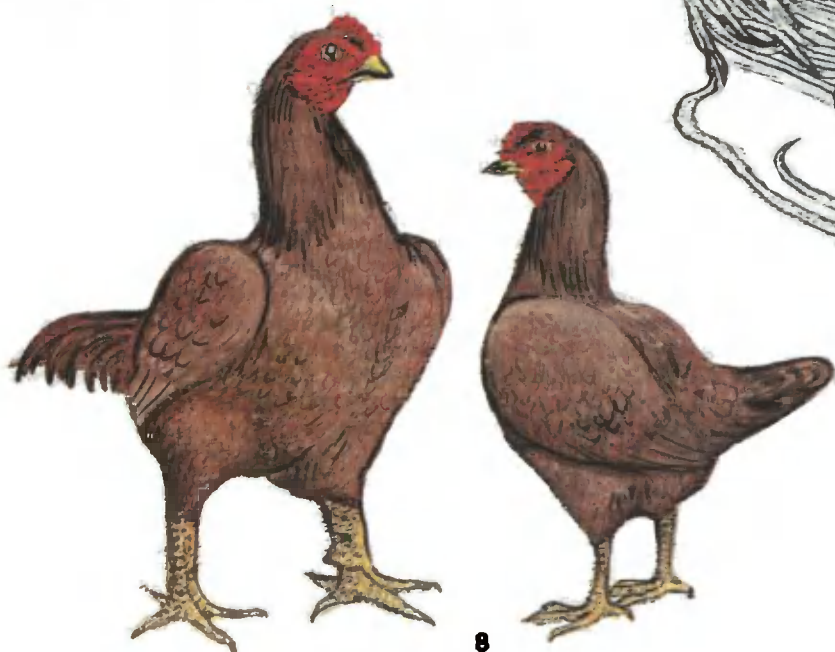
⁹ Poultry Oddities, History, Folklore. Compiled by L. Stromberg. Pine River, Minnesota, USA, 1992.

¹⁰ Лубо-Лесниченко Е.И. Китай на шелковом пути. М., 1994.





Разнообразие типов кур (по материалам из разных литературных источников): 1 — красная курица джунглей; 2—8 — домашние породы: 2 — бентамка чабо (декоративный тип), 3 — бентамка милле-флер (декоративный тип), 4 — кохинхин (мясной тип), 5 — нью-гемпшир (мясо-яичный тип), 6 — леггорн (яичный тип), 7 — феникс (декоративный тип), 8 — индийская бойцовая.



существовании в его стране четырех иностранных пород: бойцовых — родосской (родина о.Родос), мидийской (Мидия, Северо-Запад Иранского нагорья), неизвестной специализации — танагрской (из Танагры в Беотии, Древняя Греция) и халкисской (из Халкиса, о.Эвбея). Аристотель (384—322 г. до н.э.) и Плиний упоминают еще местную адрийскую породу (из Адрии близ Венеции), обладающую высокой яйценоскостью. Согласно Колумелле, лучшая птица получается в результате скрещивания петухов иностранных пород с местными курами (начало создания кроссов-гибридов). Лучшие несушки в то время давали около 60 яиц в год. Хотя Плиний отмечал, что выдающиеся особи несутся каждый день.

Вместе с распадом Римской империи приходит в упадок и высокая культура птицеводства, которая стала возрождаться только в XIX в. Однако следует признать, что содержание первого основного сельскохозяйственного словаря для фермеров (*The Complete Farmer or General Dictionary of Agriculture*), изданного в Англии в 1807 г., было лишь немногим лучше трудов Колумеллы.

МИРОВЫЕ РЕСУРСЫ ДОМАШНИХ КУР

Вторая половина XIX в. характеризуется в развитых странах мощным взрывом породообразования всех сельскохозяйственных животных, в том числе и кур. Открываются общества и клубы любителей птицеводства, проводятся выставки и конкурсы продуктивности.

Можно считать приблизительно, что с начала доместикации и до наших дней человечеством создано около 1500 пород, а возможно, и больше. Хотя каталог Р.Г.Сомса насчитывает 604 породы и разновидности кур, выведенных селекционерами из 21 страны¹¹, мы считаем возможным увеличить эту цифру более чем вдвое.

Во второй половине XX в. начался бурный рост промышленного птицеводства, основанного на получении кроссов, т.е. высокопродуктивных гибридов от скрещивания линий одной или нескольких пород. В состав всех известных в мире кроссов входит примерно 7—8 пород. Это значит, что современное птицеводство использует всего лишь около 0.5% мирового генофонда пород кур. При таком подходе генетические ресурсы промышленного птицеводства резко сокращаются. Развитие этой отрасли на индустриальной основе привело также к падению численности как чистопородной птицы, так и местных популяций кур из-за более низкой продуктивности последних, по сравнению с промышленными гибридами.

Таким образом, несмотря на великое множество домашних пород кур, эффективный генофонд их в настоящее время весьма невелик — основное поголовье составляют гибриды. Точные потери мировых генетических ресурсов птицеводства неизвестны, поскольку учет их довольно затруднителен. Тем не менее, существуют международные организации (ФАО, Европейская ассоциация продукции животноводства), которые занимаются этой проблемой. Однако если инвентаризация существующих и уже исчезнувших пород других видов сельскохозяйственных животных (крупный рогатый скот, лошади, овцы, свиньи и др.) проводится достаточно широко, то в отношении домашних птиц она только начинается. Легче осветить такую проблему, имея данные по отдельным странам. Нам ближе и, надеемся, интереснее для читателей сделать это в дальнейшем уже только по России.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Государственной научно-технической программы «Биологическое разнообразие».

¹¹ *Somes R.G. International registry of poultry genetic stock // Storrs Agr. Exp. Stat. Bull. Conn. 1985. № 469.*

Рынок и Анти-Рынок в природе и обществе

Академик Н. Н. Моисеев

Москва

В № 3 «Природы» за 1995 г. опубликована интересная статья Г.А.Заварзина «Анти-Рынок в природе». Она, в частности, полемизирует с некоторыми моими интерпретациями. Статья меня искренне обрадовала. И не только потому, что содержит много информации и интересных мыслей: если мы замечаем рассуждения других исследователей, если они интересны, а тем более если возникают дискуссии, то это означает, что научная мысль в России еще жива. Такие дискуссии помогают глубже вдуматься в содержание проблемы, уточнить сказанное, увидеть существование новых точек зрения.

К сожалению, статья написана на столь высоком профессиональном уровне, что мне, не биологу, а тем более не микробиологу, многие важные детали остались недоступными. Тем не менее рискну сказать, что рассуждения глубоко чтимого мной Заварзина только подтверждают справедливость общей схемы механизмов самоорганизации (или универсального эволюционизма — что одно и то же), которую я пытаюсь обсуждать последние два десятка лет. Именно той схемы, которая позволяет видеть аналогии на разных уровнях организации мира.

Но обо всем по порядку.

Сначала несколько слов в качестве примечания. Я употребил ныне весьма распространенное слово «самоорганизация». Оно обозначает изменение структуры системы под действием только внутренних факторов. Поэтому, строго говоря, термин «самоорганизация» применим только к Вселенной в целом, а все остальные системы, которые и являются предме-

том изучения, — открытые и находятся под воздействием внешней энергии. Так, Земля поглощает чуть больше энергии Солнца, чем излучает его в космос. Но этого «чуть» оказалось достаточно, чтобы запустить и поддерживать грандиозный процесс земной эволюции. Термин «самоорганизация» употребляется также и тогда, когда изменения системы происходят без видимой цели.

*

Более или менее целостное изложение предлагаемой схемы описано в двух моих монографиях: «Человек, среда, общество» (М., 1982), «Алгоритмы развития» (М., 1987), цикле лекций, которые я прочел в МГУ в 1992 г. (они изданы в 1994 г. под названием «Восхождение к Разуму») и статье «Универсальный эволюционизм» (Вопросы философии. 1991. № 3).

Эти работы возникли не случайно. На грани 60-х и 70-х годов в Вычислительном центре АН СССР были развернуты работы, имевшие своей целью разработку инструментария для изучения биосферы как единого целого и ее взаимодействия с обществом. Несмотря на отдельные успехи этой деятельности (широкую известность получил один побочный результат — количественный анализ явлений «ядерной ночи» и «ядерной зимы»), уже на ранней стадии исследований выявилась необходимость развития общеметодологической базы, которую я условно называю «картиной мира», и прежде всего выработки общего языка описания для процессов, протекающих на всех уровнях иерархии материального мира.

Без каких-либо комментариев я принимаю утверждение Н.Бора о том, что с помощью одного языка невозмож-

но описать процессы микро- и макромира, а тем более живого вещества и общества. Я отдаю себе отчет и в том, что любой язык — лишь интерпретация, лишь составляющая той голограммы, которая и есть настоящее понимание, то есть то, к чему мы все стремимся. Однако имея дело с компьютером, с единой системой моделей, я не могу обойтись без единого языка. Значит, любой компьютерный эксперимент — не более чем некоторая интерпретация, и я обречен на работу в тех или иных ограниченных рамках, навязываемых мне принятым языком описания. Но в этом нет особой опасности, ибо каждая интерпретация — нить Ариадны, которая указывает на новые аналогии и позволяет преодолевать то состояние, о котором так образно сказал Эйнштейн: «Как много мы знаем и как мало мы понимаем!» И в то же время, как всякий интерпретатор, я стремлюсь к использованию по возможности более общего языка, позволяющего работать с более широким множеством аналогий.

Итак, моя «картина мира» — всего лишь схема, возникшая из конкретностей и предназначенная для анализа конкретностей, это физикалистская интерпретация, позволяющая почувствовать целостность того мира, в котором мы живем и который мы изучаем.

*

Но, пользуясь разными языками, мы нуждаемся в некотором трансляторе, а отдельные слова, используемые в разных языках, должны нести единый смысл. Мне придется упомянуть некоторые из этих слов и объяснить смысл, который я в них вкладываю.

В статье Г.А.Заварзина используются три термина: система, организация, организм. Он говорит об их сходстве. Но надо видеть и различие этих терминов.

Система — любое множество связанных между собой элементов произвольной природы. Так, совокупность планет — это система тел, связанных по меньшей мере силами гравитации, а толпа митингующих —

тоже система, но система людей, связанных общей идеей протеста. А организация — это структура связей между элементами системы. Хотя всякая система обладает определенной организацией, эти понятия не тождественны, и для определенных классов организационных структур можно говорить об общих законах их формирования и изменения во времени. Так, знаменитый русский кристаллограф Е.С.Федоров установил, что может существовать только 286 различных кристаллических структур. В то же время понятия системы и организации часто отождествляют. Так, например, один из создателей теории организации А.А.Богданов в своей знаменитой «Тектологии», слово «система» вовсе не употребляет, а Людвиг фон Берта-ланфи, занимаясь близкими вопросами, не использовал понятия организации. С течением времени система и ее организация могут меняться под действием внешних или внутренних сил. В последнем случае мы говорим о процессах самоорганизации.

Изменение системы и ее организации может преследовать определенные цели и иметь внутренние, ей присущие возможности для следования этим целям. Подобную систему в теории управления и системном анализе принято называть организмом. Всякий организм — система, но не наоборот.

К числу таких общих понятий, не зависящих от интерпретации, относится и термин «РЫНОК». Замечу, что я не случайно пишу этот термин большими буквами: никаких иных механизмов самоорганизации, кроме механизма РЫНКА, природа не придумала. И не следует путать РЫНОК и рынок. По-видимому, я плохо объяснил смысл этого термина, если мое утверждение встретило возражения, ибо оно тривиально и более того — тавтологично. Попробую это объяснить.

*

Термин «РЫНОК» включает в себя отбор, в известном смысле — это синоним отбора, но отбора очень сложного, по множеству критериев, и,

как и все в организации природы, носящего иерархический характер. Во всяком случае отождествление РЫНКА (и даже обычного рынка) с конкуренцией не является корректным. Попробую проиллюстрировать это рядом примеров.

Проще всего это сделать, рассматривая механизмы РЫНКА в неживой природе. Здесь отбор реальных движений (или состояний) из числа виртуальных следует некоторому множеству критериев, в коем существует хорошо известная иерархия. В ее основе лежат законы сохранения: никому не дано, например, нарушить закон сохранения количества движения. Заметим, что уже на этом уровне допустима чисто рыночная терминология. Так, например, в механике или электродинамике существуют вариационные принципы, эквивалентные законам сохранения и позволяющие утверждать, что РЫНОК отбирает состояния, доставляющие максимум (или минимум) некоторому функционалу. Для того чтобы увидеть аналогию с тем рынком, который изучают экономисты, достаточно действие по Гамильтону или Мопертью объявить «прибылью»!

Но этот отбор не выделяет в общем случае какого-либо единственного состояния — он сужает возможное множество допустимых состояний. И на нем может происходить следующий этап отбора: в замкнутой системе возможны лишь такие процессы, которые не уменьшают ее энтропию. Над этим уровнем критериев можно увидеть и целый ряд других. Так, например, наблюдатель чаще других видит более стабильные состояния (принцип карандаша: никто не видел карандаша, стоящего на острие, хотя это состояние удовлетворяет всем законам сохранения) и т.д. Еще более наглядный пример иерархической структуры принципов отбора дает изучение течения в трубе жидкости со взвешенными частицами. Опыт показывает, что они группируются в центре потока (пристеночный эффект). Уравнения динамики вязкой жидкости допускают произвольное распределение

частиц. Но преодоление сил вязкости будет минимальным, если частицы окажутся в той области течения, где градиент сил вязкости минимален. Значит, среди тех форм движения, которые согласуются с другими принципами отбора (законами сохранения), РЫНОК отбирает более экономные, т.е. те, где энтропия растет медленнее.

Вот такой «многоярусный отбор», а не простая конкуренция, просматривается на всех уровнях организации материального мира. Заметим, что критерии отбора далеко не всегда иерархически упорядочены — они часто и противоречивы, особенно на уровне общественной организации. Тогда отбор рождает целое множество равноправных, часто взаимодополняющих структур (типа нейтральных мутаций), ранжировать которые невозможно.

Но кроме описанных механизмов РЫНОК необходимо рождает и те, которые Г.А.Заварзин называет антирыночными. Попробуем в этом разобраться и увидеть, как они согласуются с тем представлением о РЫНКЕ, которое я использую.

*

Одна из важнейших особенностей процессов самоорганизации нашего мира — существование механизмов кооперативности, т.е. объединения «элементов» в системы. Я не случайно поставил кавычки, ибо в качестве элементов могут выступать и сложные системы. Эта особенность присуща всем уровням организации материального мира — и неживой материи, и живому веществу, и процессам, протекающим в общественной сфере.

Когда мы говорим об объединении элементов в системы, то имеем в виду реализацию потенциально возможных связей между элементами и законов нашего мира. Причем потенциально возможных кооперативных структур гораздо больше, чем реально наблюдаемых. Значит, проявление кооперативности — это тоже результат отбора, т.е. действия механизмов «универсального РЫНКА». И поскольку

критерии отбора различны и их много, то процесс формирования систем тоже неоднозначен и (так же, как и мутагенез) приводит к многообразию различных форм организации систем.

Простейший пример кооперативности в неживой природе — различные типы резонансов (и когерентности). В процессе взаимодействия все остальные состояния взаимодействующих элементов постепенно диссипируют, их энергия рассеивается и остается лишь «резонирующая частота». Законы физики, т.е. принципы отбора, совершают необходимую «подстройку», отбраковывая все неконкурентоспособные, если угодно использовать эту терминологию, состояния системы.

Во многих случаях, зная свойства элементов, мы можем заранее предсказать свойства системы. Но она может обладать и специальными «системными свойствами», которые не выводимы из свойств элементов. Так, например, мы пока не знаем, как, опираясь на свойства молекул кислорода и водорода, вывести аномальные зависимости плотности воды от температуры. Точно так же современная квантовая химия оказалась неспособной объяснить свойство сверхпроводимости керамических диэлектриков.

Следовательно, объединение элементов в системы может приводить к появлению объектов, обладающих новыми непредсказуемыми свойствами, которые в свою очередь могут участвовать в отборе. И еще два замечания. Во-первых, в результате объединения (кооперации) могут возникать объекты с неспособными свойствами, а значит, и не участвующими в последующих стадиях отбора. Во-вторых, возникающие системы могут взаимно «дополнять» друг друга, т.е. служить кирпичиками для создания новых системных конструкций. Таким образом, в процессе эволюции, т.е. действия механизма РЫНКА, возникают иерархически организованные кооперативные структуры, которые однажды снова начинают участвовать в отборе и формировании нового этажа иерархии.

И вся эта «кооперативная дея-

тельность» происходит на фоне стохастичности, расширяющей «палитру отбора» (или «рыночного прилавка»). Мутагенез является одним из примеров подобного процесса, но он проявляется в похожих формах на всех этапах организации мира.

Кооперативность, т.е. объединение в системы, столь же естественная форма движения, как и движение планет: возникают все более и более сложно организованные структуры. Но никак нельзя говорить о том, что механизм РЫНКА приводит к более совершенным конструкциям, поскольку в силу множественности критериев они просто несопоставимы. Можно ли, например, говорить о том, что эукариоты более совершенны, чем прокариоты?

Эукариоты обладают кислородным дыханием, вследствие чего процессы, которые в них происходят, более эффективны в плане энергетики. Но эукариоты смертны — потеря гомеостазиса, т.е. индивидуальная смерть у них, в отличие от прокариотов, закодирована генетически. А прокариоты, контролируя кругооборот веществ в природе, являются основой жизни на Земле — без них существование остального живого вещества невозможно. Это основа жизненной пирамиды. Но именно в силу того, что эукариоты смертны, процессы их эволюции идут совершенно иными темпами. Благодаря им жизнь на Земле стремительно развивается, растет разнообразие организационных структур живого вещества, а значит, и крепнет устойчивость биосферы.

И еще один пример — человек и термит. Эти потомки бывших тараканов существуют на планете триста, а то и четыреста миллионов лет. Они сумели приспособиться к любой изменчивости условий жизни. И даже сейчас этот вид является вполне процветающим. Я почти убежден, что он переживет вид *Homo sapiens*! Но разве можно говорить, что термит совершеннее человека? И так во всем. По одним критериям РЫНОК расставляет «произведения природы» на

одной шкале, а по другим критериям шкала выглядит совершенно иначе.

И ведь то же самое происходит и в человеческом обществе. Только наши псевдодемократы и экономисты сводят РЫНОК к рынку! Земледелие (особенно в наших географических широтах) абсолютно неконкурентоспособно по тривиальным рыночным представлениям. И не только оно — «экологическое благополучие» тоже! Но ведь есть и другие критерии. Земля, природа — это основа жизни, и не только сиюминутной соревновательностью и выгодой на рынке определяется наше будущее!

Значит, необходимо более глубоко разобраться в том, как функционирует РЫНОК, как возникает «поле возможностей», из которого происходит отбор, и как этот отбор происходит. Почему одни формы организации материи продолжают «развиваться», т.е. усложняются одновременно с ростом их разнообразия и расширением экологической ниши, а другие «деградируют», т.е. изменяются в обратном направлении.

Я не случайно поставил кавычки, ибо изучая процессы самоорганизации нашего мира, видя все многообразие критериев, очень непросто дать этим двум словам однозначное толкование. Так, в начале четвертичного периода, когда площадь тропических лесов катастрофически сократилась, наши предки, не выдержав конкуренции с предками современных обезьян, переселились в саванну, и им, не приспособленным к жизни в новых условиях, на роду было написано погибнуть. Но проигрыш обернулся победой: австралопитеки превратились в людей. Впрочем... с точки зрения термитов, эта победа и была пирровой! Так что РЫНОК многолик, и давайте снова вернемся к обсуждению его некоторых механизмов.

*

Вот два тезиса, которые могут дать еще один ракурс для рассмотрения механизма РЫНКА.

Первый: отбор совершается не по одному какому-либо критерию, а по

целому множеству критериев, и многие из них несопоставимы.

Второй: при объединении элементов в системы каждый из них что-то «теряет» во имя чего-то другого. Иными словами, всякое кооперативное образование является следствием некоторого компромисса.

Что касается первого тезиса, то я его уже проиллюстрировал рядом примеров. Теперь о втором, который в известной мере является следствием первого.

У всякого сообщества живых существ есть одна ему присущая особенность — степень подчинения индивидуума общим правилам поведения сообщества (стада). Другими словами, поведению каждого живого существа присущи две тенденции (я бы не постеснялся сказать: два интереса или две цели). Одна из них — сохранение гомеостаза отдельного организма, другая — сообщества (или популяции). И эти два критерия — степень способности сохранять индивидуальный гомеостаз и гомеостаз популяции — не являются автоматически совместимыми, ибо цели по существу разные. Значит, для их совмещения необходим компромисс: каждому виду свойственно разрешение этого компромисса, он жертвует степенью одного ради другого. И эти компромиссы могут быть самыми разными, т.е. мы видим самые разные сочетания «личного» и «общественного». Вот два примера, показывающие, как РЫНОК рождает два совершенно противоположных типа разрешения «конфликтов» между этими тенденциями.

Многие из головоногих — каннибалы, и все «общественное» им абсолютно чуждо. Вот для того, чтобы они могли выжить, природе (точнее, РЫНКУ) пришлось сохранить только те виды, у которых самцы немедленно погибают сразу после того, как совершат свои брачные обязанности. Другими словами, конфликт между личным и общественным решен однозначно раз и навсегда в пользу личного!

Другой крайний случай — термиты, о которых я уже упоминал.

Несколько сот миллионов лет тому назад они жили жизнью обыкновенных тараканов. Но затем, когда стал меняться климат, «ушли под землю», сохранив в своих термитниках и лабиринтах транспортных ходов температуру и влажность тех далеких времен, когда они жили жизнью обычных насекомых. Однажды, когда стал меняться климат, РЫНОК заставил их искать новые компромиссы между общественным и индивидуальным. В результате возник феномен: все личное оказалось полностью подчинено коллективным интересам. Отдельный термит даже не может рассматриваться в качестве отдельного организма: у них даже пищеварение общее, а стремление к сохранению индивидуального гомеостаза, вероятно, практически отсутствует. Организмом является лишь термитник в целом!

Я привел два крайних случая разрешения противоречий между «личным» и «общественным», и оба они обеспечивают существование двух процветающих видов живых существ. Но РЫНОК с его сложнейшей иерархической системой отбора рождает (может быть, лучше сказать — допускает) самые немыслимые сочетания разных уровней реализации тех или иных тенденций.

С аналогичной ситуацией мы сталкиваемся и тогда, когда пытаемся анализировать процессы, протекающие в человеческом обществе. Одна из важнейших характеристик цивилизаций — место личности в структуре общества. На одном фланге (здесь я буду следовать М.Веберу) — цивилизации «протестантской этики» с их крайним индивидуализмом. Здесь особо выделяются кальвинисты с их преклонением перед личным успехом, с верой в то, что именно он говорит об избранности. А рядом — русская цивилизация с ее соборностью и коллективизмом и тем особым духовным настроением, о котором писал Н.Я.Данилевский еще в 60-е годы прошлого века, а в начале 20-х годов нынешнего отметил А.Д.Тойнби. Я думаю, что эти два человека особенно отчетливо увидели

в России цивилизацию, глубоко отличную от той, которая возникла у народов Европейского полуострова.

А еще дальше по этой шкале расположена цивилизация Японии с ее принципом «забывания гвоздей». Человека принимают на работу в фирму не потому, что он талантлив, а потому, насколько он способен принять философию фирмы и «не высовываться».

И все описанное различие родилось в рамках РЫНКА, благодаря РЫНКУ! Очень важно понять, каким образом могло возникнуть такое многообразие цивилизаций, — объяснить его простыми законами конкуренции вряд ли возможно.

*

Когда экономисты используют слово «рынок», они имеют в виду механизм конкуренции (главным образом). Когда же я говорю о РЫНКЕ, то имею в виду механизмы, преодолевающие «противоречия». Конкуренция, связанная с понятием «антагонизм», — лишь очень частный вид противоречия и в рафинированном виде почти не встречается ни в обществе, ни в природе — даже хищник и жертва, строго говоря, не являются антагонистами.

Противоречия означают тот общий случай взаимодействия, когда у каждого из некоторого множества взаимодействующих элементов (систем, организмов...) существует много различных и несовпадающих целей. Их «интересы» не антагонистичны, но и не тождественны. Для их разрешения, т.е. обеспечения возможности взаимного существования, необходимы некоторые компромиссы, реализация которых и создает новую кооперативную конструкцию. Систематическим анализом такой ситуации впервые начал заниматься в самом начале XX в. итальянский экономист В.Парето. С его именем связано возникновение математической теории конфликтов, или игр с непротивоположными интересами, впоследствии блестяще развитой ныне покойным профессором МГУ Ю.Б.Гермейером. В рамках этой тео-

рии возникло очень важное понятие «парето-оптимальность».

Представим себе два организма или две фирмы, из которых одна по каждому из совокупности неких критериев (значимых показателей) превосходит другую. Тогда эти системы мы можем сравнивать и говорить, что одна из них лучше другой. И РЫНОК отберет эту лучшую. Если же по одним параметрам одна система лучше другой, а по другим — хуже, то РЫНОК отказывается делать свой выбор, и обе системы получают право на существование. Так вот, множество состояний (или организмов), в котором улучшение одной из характеристик неизбежно сопровождается ухудшением хотя бы одной из других, и принято называть парето-оптимальным множеством (или парето-оптимальными компромиссами). Таким образом, механизмы отбора в реальной жизни отбирают не отдельные организмы, структуры, формы, а целое множество парето-оптимальных структур. С этой точки зрения и термит, и человек, и любой другой процветающий вид реализовал свой парето-оптимальный компромисс, который может быть легко разрушен при изменении внешних условий, т.е. системы критериев.

В человеческом обществе описанный процесс отбора усложняется тем, что в него включается Разум с присущей ему неоднозначной интерпретацией того, что человек наблюдает. Здесь мы невольно переходим в область человеческих отношений и психики. Многие исследователи пытались понять, какими мотивами пользуется человек, совершая тот или другой дополнительный выбор или принимая решение в конфликтной ситуации.

Сейчас этому вопросу посвящена огромная литература, и его подробное обсуждение увело бы нас далеко в сторону. Я ограничусь лишь одним замечанием о проблеме «устойчивости компромисса», поскольку она может иметь аналогии и вне человеческого общества.

Предположим, что несколько субъектов условились о содержании

некоторого компромисса, т.е. приняли на себя определенные обязательства. Если субъекты достаточно разумны, то они сами выберут некий парето-оптимальный компромисс, поскольку в противном случае существует некоторый компромисс, который одновременно более выгоден всем субъектам (в природе роль Разума играет РЫНОК — он производит разумный отбор). Но такой выбор еще вовсе не означает, что какому-либо из субъектов не придется в голову нарушить договоренности и получить для себя лично некое преимущество. Значит, среди парето-оптимальных компромиссов имеют шанс реализоваться лишь такие, отступления от которых невыгодны никому из участников компромисса (или кооперации). Такие компромиссы и называются устойчивыми.

Подведем некоторые итоги.

В процессе эволюции (самоорганизации, развития) разрешаются разнообразные противоречия или, если угодно, конфликты. В результате возникают кооперативные взаимодействия; иными словами, утверждается некая система компромиссов, которая и есть основа кооперативной организации, т.е. объединения элементов в системы. И на этой возникающей совокупности систем снова начинается действовать отбор.

Этот процесс многообразен, ибо в результате отбора возникают системы, несравнимые по своим свойствам (по терминологии теории исследования операций — парето-оптимальные). Часто они обладают взаимодополняющими свойствами, что является основой для новой кооперации и т.д. Вот такой представляется схема интерпретации эволюции материального мира, которую я и называю универсальным эволюционизмом.

В статье Г.А.Заварзина рассказывается об одной из самых замечательных и фундаментальных особенностей этого всемирного процесса развития. Мир прокариотов, о котором идет речь в его работе, контролирует весь процесс кругооборота веществ (в принципе незамкнутого). По существу, этот мир и есть фундамент биосферы. Но только

фундамент. Основное здание построено эукариотами. Оно тоже результат кооперации — свойства каждого «мира» дополняют друг друга: эукариоты не могли бы возникнуть без прокариотов, которые создали кислородную атмосферу. Но кислород — это страшный яд, и без появления эукариотов произошло бы повышение его концентрации, что могло бы прекратить существование прокариотов, а значит, и биосферы! Наконец, эукариоты — энергетическое сердце биосферы, поскольку они способны в десятки раз эффективнее использовать энергию.

Таким образом, биосфера — это результат кооперативного взаимодействия невероятного множества агентов, и РЫНОК отобрал именно ту форму взаимодействия, которая, во всяком случае до поры до времени, обладала определенной стабильностью — вот почему я говорил об устойчивости компромиссов в обществе.

*

Возникновение новых форм организации вещества — одна из самых сокровенных тайн мироздания. И один из решающих шагов в ее постижении сделал Ч.Дарвин. И как ни важен тот шаг, в понимании которого он сказал решающее слово, — это лишь один из эпизодов познания грандиозного единого процесса эволюции Универсума. Подчеркну — единого! Не менее важное значение, хотя и не столь впечатляющее для непросвещенного читателя, имеет факт понимания того, что такое бифуркация, тоже играющая важнейшую роль в процессах развития. Открытием этого явления мы обязаны прежде всего Л.Эйлеру и А.Пуанкаре (и ряду других математиков и физиков, изучавших критические состояния систем, изменяющихся во времени). Явление бифуркации приводит не только к появлению новых форм организации вещества, но, и это может быть еще важнее, — к непредсказуемости эволюции.

При переходе через критическое состояние (катастрофу — по терминологии Р.Томы) система практически теряет «память», и в становлении ее нового

состояния резко возрастает роль тех случайных воздействий, той стохастики, которая органически присуща природе. Появление качественно новой формы организации всегда есть результат бифуркации. (Поэтому правы и Дарвин и Кювье — каждый по-своему!)

Верхняя оболочка Земли пережила по меньшей мере три грандиозные перестройки (бифуркации): возникновение биосферы, т.е. появление живого вещества, переход от прокариотов к эукариотам и становление Разума, т.е. превращение мозга в инструмент, обладающий сознанием.

Из этих трех фундаментальных бифуркаций, наверное, самая таинственная — первая, ибо до сих пор мы не можем более или менее полно определить даже само понятие «жизнь», хотя, вероятно, можем себе представить те причины, которые заставили РЫНОК создать этот этаж эволюционной иерархии.

Говоря о феномене жизни, обычно упоминают три ее особенности: метаболизм, редупликацию и стремление к сохранению гомеостаза отдельного организма или системы организмов. В 60-х годах М.Эйген показал, что первыми двумя особенностями могут обладать такие заведомо неживые формы вещества, как биологические макромолекулы. В 1993 г. я показал, что неточность редупликации порождает систему отрицательных обратных связей, сохраняющих целостность системы элементов, способных к редупликации¹. Таким образом, все перечисленные свойства, присущие живому, не являются его прерогативами — они необходимо присущи живому, но не определяют его однозначно!

Так что же такое жизнь? Что в ней такого специфического, что отобрал РЫНОК для построения нового этажа мироздания?

И здесь мы естественным образом возвращаемся к закону Пастера—Кюри.

¹ См.: Моисеев Н.Н. Биота как регулятор и проблема sustainability // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1994. № 4.

Луи Пастер в 40-х годах прошлого века обнаружил, что живое вещество поляризует свет, а через 30 лет Пьер Кюри установил, что многие молекулы могут обладать двумя структурами расположения атомов, которые являются зеркальными отображениями друг друга. Их принято называть левыми и правыми. С химической точки зрения эти молекулы неразличимы. Но вот живое вещество строится из молекул только одного типа симметрии, потому и поляризует свет. Так, сахара оно использует только левые, а аминокислоты только правые. Это явление, открытое Пастером и объясненное Кюри, называется дисимметрией.

Описанный факт имеет огромное познавательное значение. Первое следствие — это то, что мы можем утверждать: в ближнем космосе нет живого вещества. И лунный грунт, и метеоритное вещество, имеющееся в распоряжении ученых, не обладают свойством дисимметрии. Хотя это свойство, так же как и метаболизм и редупликация, является лишь необходимым свойством живого вещества, но недостаточным для его определения, ибо существуют, например, кристаллы, тоже поляризующие свет.

Мне важно обратить внимание еще на одно обстоятельство. Обладая современной аппаратурой, физик может определить тип симметрии молекулы, но каким образом любое живое, будь то микроскопический прокариот или органы человека, отбраковывают и отбрасывают в качестве шлака молекулы другой симметрии, остается загадкой. И, может быть, еще более загадочный факт — почему РЫНОК в процессе формирования новых кооперативных структур отобрал именно те, которые состоят из молекул вполне определенного типа симметрии!

*

Так почему же возникает и как формируется то удивительное многообразие форм организации материального мира, которое мы наблюдаем? Почему многие из них существуют

мгновения, а другие, по меркам человеческой жизни, вечны? И что узнать можем мы, частица этого мира, возникшая в процессе его эволюции и живущая внутри него? И как смог механизм, который я условно назвал РЫНКОМ, механизм, который использует ничтожную энергетическую неравномерность, исчисляемую долями процента от той энергии, которую Земля получает из космоса, создать нас — наблюдателей этого процесса?

Все это вопросы бесконечно сложные, но они-то и составляют суть великой науки, которую мы сейчас начали называть экологией человека, т.е. науки о собственном доме, в котором мы — временные жители. Науки о том, как продлить наше существование под его крышей.

Используя предлагаемый язык (интерпретацию), можно сказать, что основная задача фундаментальной науки — раскрыть процесс формирования новых организационных структур и описать те принципы отбора, которые сохраняют лишь отдельные формы кооперации.

Вот всю эту грандиозную систему создания многообразия различных форм и отбора тех структур, которые продолжали эволюционировать, я и называю РЫНКОМ. Соревновательность по какому-либо признаку представляет собой необходимую, но очень частную особенность РЫНКА. Можно привести еще много аргументов, оправдывающих название этого основного (а может быть, и единственного) механизма самоорганизации. То, что Г.А.Заварзин назвал Анти-Рынком, есть лишь один из множества механизмов создания необходимой базы для отбора: ведь если не будет вариантов, то и соревноваться будет некому! Мутагенез, неточность редупликации, кооперативность — все это составляющие единого процесса действия РЫНКА. Это проявление единства Вселенной. Предлагаемая интерпретация позволяет увидеть это единство. Ну, а вопрос об используемых словах — вещь второстепенная, если понимается правильно их смысл.

НЕЗАБЫВАЕМЫЙ МИРНЫЙ

Сорок лет назад, 13 февраля 1956 г., на берегу моря Дейвиса был поднят флаг над первой советской научной станцией в Антарктиде — обсерваторией Мирный. Она была названа так в честь шлюпа «Мирный» — одного из двух кораблей кругосветной экспедиции Ф.Ф.Белинсгаузена и М.П.Лазарева (1819—1821), открывшей Антарктиду. С Мирного началось освоение шестого континента советскими полярниками. До 1971 г. обсерватория была главной базой Советской антарктической экспедиции (САЭ), позже стала выполнять функции научной станции.

Мы предлагаем вниманию читателей дневниковые записи начальника метеотряда второй САЭ О.Г.Кричака, сделанные им год спустя после открытия Мирного, во время Международного геофизического года (МГГ). Их предваряет рассказ И.А.Зотикова, участника шести антарктических экспедиций, о самом Кричаке, чье имя известно всем, кто хотя бы раз побывал на ледовом континенте, а также размышления о возможном будущем первой отечественной станции в Антарктиде.

«Вспомни, товарищ...»

И. А. Зотиков,
член-корреспондент РАН
Институт географии РАН
Москва

«**В**СПОМНИ, товарищ, недавно то было. Мирный вдруг вырос вдали...»

Так начинается самая знаменитая песня наших антарктических полярников — «Антарктический вальс», слова к которой написал журналист А.Введенский, а музыку — О.Кричак.

Оскар Григорьевич Кричак приехал в Антарктиду начальником одного из самых важных научных отрядов второй Советской антарктической экспедиции (САЭ) — аэрометеорологического. Состав второй САЭ был, пожалуй, наиболее сильным из всех наших антарктических экспедиций, поскольку она работала в период Международного геофизического года. Тогда ведущие страны мира послали своих лучших специалистов в Антарктиду, и начался, продолжающийся до сегод-

няшнего дня, период современного исследования шестого континента.

Многие участники второй САЭ стали докторами наук, профессорами, двое — академиками. Кричак не успел приобрести высоких званий. Он увидел Мирный, когда ему было 45 лет, а через четыре года, не дожив до пятидесятилетия, 3 августа 1960 г. погиб вместе с семьей своими товарищами из аэрометеорологического отряда пятой САЭ.

С того времени прошел немалый срок, достаточный, чтобы река времени стерла имя и дела человека. И все-таки не побоюсь утверждать: Кричака по тем или иным причинам знают все, кто прикоснулся к шестому континенту.

Фактически Оскар Григорьевич Кричак начал работать в САЭ, еще когда готовил для экспедиции периода МГГ аэрометеорологические програм-



О.Г.Кричак (1911—1960).

Здесь и далее фотографии из семейного архива О.Г.Кричака

мы, частью которых стала его работа в Антарктиде. Но, возможно, первый шаг к ледовому континенту он сделал в середине 30-х годов, когда решил заниматься аэросиноптическими исследованиями атмосферных процессов с целью изучения атмосферной циркуляции большого масштаба и совершенствования методики прогноза погоды. Уже тогда он широко использовал пилотируемые воздушные шары и сам с большим удовольствием летал на них — сказалось юношеское увлечение планеризмом и воздухоплаванием. А может быть, он сделал этот шаг к Антарктиде, когда перед войной ему удалось создать знаменитую Центральную аэрологическую обсерваторию и стать первым ее директором, организовать аэрологические исследования с помощью радиозондов, самолетов и

аэростатов разных объемов, начать изучение трансформации движущегося воздуха. Личное участие Кричака в самых рискованных экспериментах стало стилем его работы.

Когда в 1937 г. начался дрейф научной станции «Северный полюс», Кричак не остался равнодушным и в том же году написал работу, посвященную анализу связи дрейфа «СП-1» с ветровым режимом центральной Арктики. Его темпераменту явно импонировал такой научный эксперимент, а также открывающиеся возможности изучения атмосферы Земли у ее полюсов.

Подготовленную к этому времени кандидатскую диссертацию Кричак посвятил типизации синоптических процессов над Европой, она широко использовалась как методическое посо-

венным пунктом во всей Антарктиде, где с абсолютной регулярностью проводилось ежедневное четырехразовое зондирование атмосферы. Под руководством Кричака в Мирном успешно работало бюро погоды, составлялись приземные синоптические и аэрологические карты, давались прогнозы погоды. Отряд выполнял научные полеты, включавшие вертикальное зондирование над континентом, прибрежной зоной и океаном. Предложенная Кричаком методика измерения с самолета высоты поверхности ледяного континента позволила в короткий срок определить его рельеф по профилю от Мирного до Южного геомагнитного полюса.

После экспедиции Кричак написал несколько работ, наиболее значительная из них — «Особенности атмосферной циркуляции над Антарктидой и ее связь с общей циркуляцией Южного полушария». Эти исследования позволили пролить свет на природу антарктического циклона и его особенности.

Через три года Кричак вновь попадает в Антарктиду, подошло время пятой САЭ. В этой экспедиции Оскар Григорьевич продолжает начатые исследования. Запланировано резко увеличить сеть аэрологических станций в прибрежном, прилегающем к Мирному, районе путем создания выносных станций. Работа ведется в течение июня—июля, в наиболее интересный для метеорологов период антарктической зимы. 2 августа 1960 г. наблюдения были завершены, и персонал двух из трех работавших станций возвратился в Мирный.

А ночью 3 августа произошла трагедия. В доме метеоотряда возник пожар. При ураганном ветре более 50 м/с люди не справились со стихией. Оскар Григорьевич и его товарищи были похоронены на кладбище Мирного.

Уникальные данные наблюдений удалось восстановить. Результаты выпуска радиозондов позволили впервые в Антарктиде построить вертикальные разрезы атмосферы до высоты 20 км.

Было получено наглядное представление о положении атмосферных фронтов и тропопаузы, об эволюции циклонов умеренных и высоких широт.

Рассказ об Оскаре Григорьевиче был бы неполным, если бы касался только его профессиональной деятельности. Кричак был человеком широких интересов. Будучи талантливым музыкантом-самоучкой, еще подростком работал тапером в ленинградских кинотеатрах, «озвучивая» немое кино. Позднее играл в самодеятельном оркестре народных инструментов на домбре и мандолине; любил музицировать в кругу семьи и друзей. В Антарктиде он организовал музыкальный ансамбль «Сосулька» и написал более десяти мелодичных, всем полюбившихся песен.

Кричак был душой экспедиции, там, где он бывал, часто слышались шутки и смех. С ним было легко в самых трудных ситуациях. Сохраняя неизменную доброжелательность к людям, он умел зажечь окружающих интересом к работе. Несмотря на безвременную гибель, Оскар Григорьевич успел много сделать. Он обладал даром любить жизнь, любить людей. И люди платили ему тем же.

Такой счастливой и трагической была судьба одного из тех, кто создавал историю маленького, но известного во всех уголках Земли антарктического поселка Мирный. Ну а как же сложилась судьба самой обсерватории?

В 1971 г. Мирный перестал быть главной базой САЭ, его функции перешли к станции Молодежная. Стало понятно, что место первой станции было выбрано неудачно из-за ежедневных многочасовых атак страшных ветров, несущих с собой огромное количество снега. Когда Кричак приплыл в Антарктиду во второй, и последний, раз, большая часть строений станции, в том числе и дом аэрометеорологического отряда, были уже засыпаны. Чтобы войти в них, надо было спускаться по вертикальным шахтам с крышками наверху. Может быть это было одной из причин, что

пожар 3 августа привел к такой трагедии.

Но с другой стороны, ровный, непрерывный подъем на ледяное плато, который начинался сразу от поселка, был дорогой в глубь континента. Именно отсюда отправлялись санно-тракторные поезда, и уже в конце второй САЭ на расстоянии 1000 км от берега Антарктиды, в районе Южного геомагнитного полюса заработала трудная для жизни, но круглогодично действующая внутриконтинентальная станция Восток. Она расположена на поверхности ледяного щита на высоте 3.5 км над ур.м., а скальное ложе самого щита в этом месте лежит на 700 м ниже ур.м. Все пространство между этими отметками заполнено льдом.

Из 40 лет, что существует обсерватория Мирный, на протяжении 38 важной ее задачей было научное и материальное обеспечение станции Восток. Сначала главным здесь был комплекс работ, связанных с распространением радиоволн, с полярными сияниями. Но под сенью огромных ажурных серебристых антенн, предназначенных для изучения атмосферы, из года в год росли башни установок для бурения и извлечения на поверхность образцов льда — кернов. За 30 лет почти непрерывного бурения удалось пройти до глубины 3 км. Изучение кернов с помощью все более совершенствующихся методов дало сенсационные результаты. Оказалось, что керны «запомнили» климатические условия у поверхности ледника почти за 300 тыс. лет. Другими словами, определена температура, количество осадков, содержание газов и примесей в атмосфере за этот период времени.

До дна ледника осталось всего около 700 м. Однако возраст слоев

льда в его придонных горизонтах изменяется с глубиной гораздо быстрее, чем в верхних его частях, поэтому можно ожидать, что в ближайшее время станция Восток даст нам данные о климате еще нескольких тысяч лет.

Ну, а что дальше? Международным сообществом уже подписаны планы свертыwania бурения на Востоке, и, кажется, очень скоро интерес к ней, а значит и к Мирному, резко упадет. Однако появилась еще одна научная проблема, работа над которой может продлить жизнь обеим станциям. Спутниковые, радиолокационные и сейсмические данные позволили заключить, что у дна ледникового покрова Восточной Антарктиды существует огромное озеро пресной талой воды (длиной около 250 км, шириной около 50 км и глубиной около 500 м). Оно образовалось за счет непрерывного таяния покрывающей озеро ледяной крыши, — процесса, обусловленного глубинным теплом Земли. Это таяние со скоростью около 1 мм в год постоянно приносит в озеро не только новую воду, но и растворенные в ней кислород и некоторое количество органических веществ, что позволяет говорить о существовании в озере форм жизни — возможно, простейшей, но не связанной с остальной жизнью Земли последних по крайней мере 500 тыс. лет. Естественно, что изучение этого озера стало бы интересным и важным делом. Станция Восток, по счастливой случайности, оказалась размещенной как раз над этим озером. Значит, продолжение работ на Востоке, а, следовательно, и в Мирном, будет несомненно оправдано, и огни Мирного, воспетые в «Антарктическом вальсе» Кричака, не скоро угаснут.

Из антарктических записок

О. Г. Кричак

МИМО нас плыли и плыли айсберги. Некоторые были очень большими — до полукилометра в длину. Многие имели прямо-таки фантастические очертания — то напоминали самолет, то корабль, то замок, но больше всего проходило столовых айсбергов с плоским верхом. «Обь» шла впереди и через некоторое время ввела нашу «Кооперацию» в пояс сплошных льдов. Появился вертолет. Он показывал дорогу, и мы увидели, наконец, сначала отдельные, выступающие из ледника и снега, скалы, а затем Мирный — конечный пункт нашего плавания. Антарктида! Заснеженный, одетый в ледник огромный континент. Мы видим разбросанные корбочки — домики мирян. При всей грандиозности ледяного царства вид довольно большого поселка, самолетов, двух кораблей, радиомачт несколько нарушал ту романтическую картину, которая рисовалась воображению. Мы так готовились к этой встрече, жаждали попасть сюда! Нас увлекала возможность работать в Антарктиде в период Международного геофизического года. Экспедиция должна открыть новые станции внутри континента, а мы — метеорологи — широким фронтом развернуть исследования атмосферных процессов и климата суровой Антарктиды, разобраться, в какой мере она является «кухней» погоды Южного полушария. Нам предстоит большая работа, и нужно торопиться.

МЫ НАДОЛГО ОСТАЕМСЯ ОДНИ

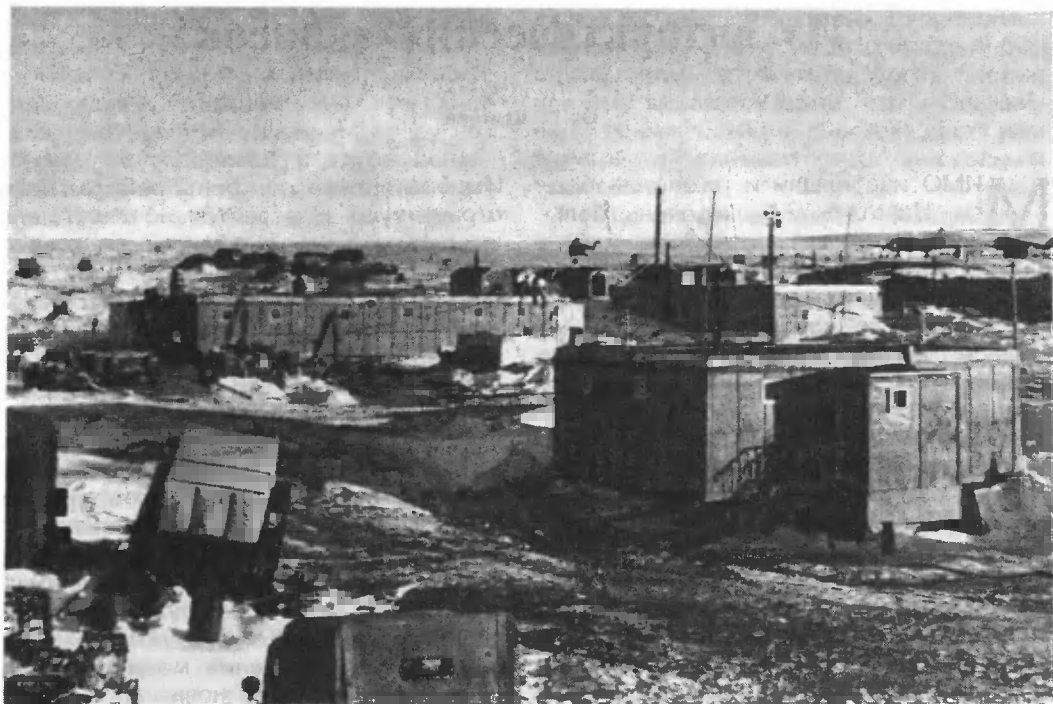
Приступаем к разгрузке. В этом принимают участие все, кроме связистов, которые сразу включились в работу узла связи. Правда, есть и наблюдатели. Это пингвины Адели.

Императорские пингвины сейчас где-то странствуют и появятся позже. Аделики расхаживают в одиночку и группами, подходят к кораблю, тракторам, людям и все внимательно рассматривают... Перетаскали уйму различных грузов — сначала с корабля на припай, а потом эти грузы тракторами вытаскивали на берег, и мы относили их в склады или на площадки. Специально выделенная ледовая группа, в основном из гидрологов, круглые сутки бурила лед и определяла его толщину. В опасных местах ставили флажок, здесь тракторам ездить было нельзя. Солнце делало свое дело, толщина льда кое-где уже доходила до 80 см, и движение машин по льду было перенесено на ночь.

Живем на «Кооперации», которую в Мирном зовут и «Кооперативом», и «Сельпо» (название, действительно, неблагозвучное, но кораблик неплохой). «Обь», разбив лед вблизи «Кооперации», чтобы та могла маневрировать сама, ушла проводить исследования в южной части Индийского океана. Потом она вернется, заберет строителей, часть научных работников первой смены и пойдет домой.

Одновременно с разгрузкой знакомимся с работой зимовавшего отряда и частично подменяем аэрологов прошлой смены, которые заметно устали. Рядом с железным эллингом, где радиозондовые оболочки наполняются водородом, начинаем строительство склада для химикатов. Хотим прорезать в стене эллинга дверь, чтобы зимой, когда будут сильные снежные заносы, химикаты были всегда под рукой. Спланировать работу отряда на ближайшее время довольно трудно. Ясно только, что скоро придет «Лена» (третий корабль нашей экспедиции), и мы снова будем заняты на разгрузке.

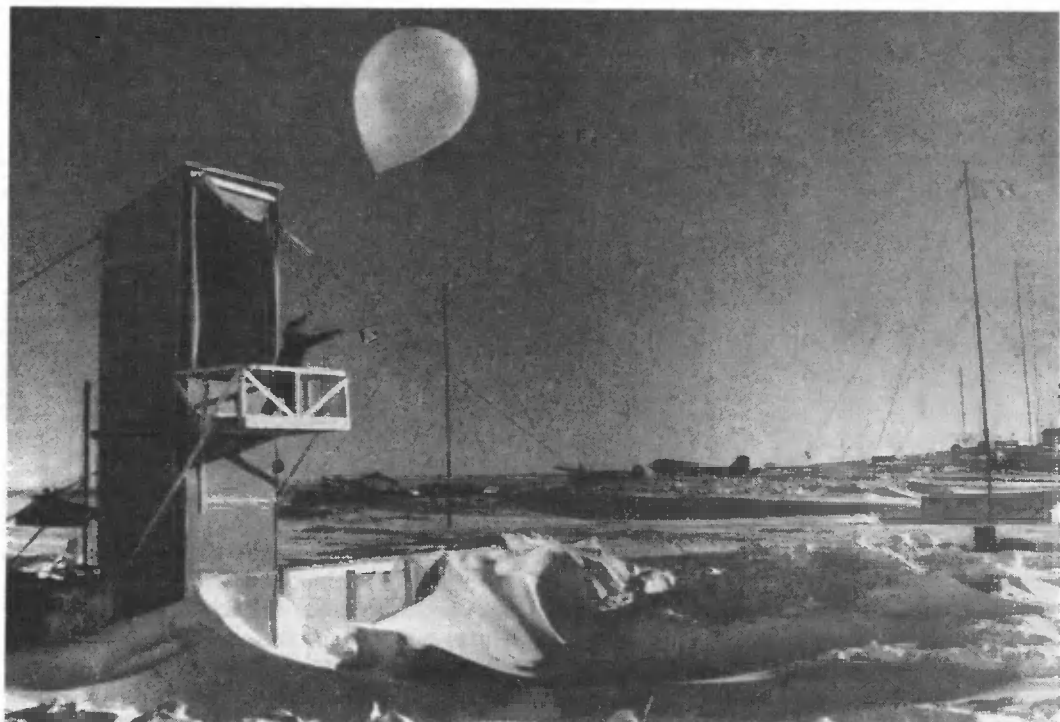
Приготовились к полному сходу в Мирный. На твердой земле уже живут



Домики Мирного. 1957 г.

Транспортировка каркаса аэрологической вышки.





Выпуск радиозонда.

несколько наших товарищей, но для всех еще нет места. Гордона Картрайта, американского метеоролога, который будет работать в нашем отряде (он появился на «Кооперации» еще в Кейптауне), перевели сразу же. Забавный случай: в его комнату не успели врезать дверной замок, и когда уже в его присутствии пришел рабочий, Картрайт сказал, что ему замок не нужен. Начальство по этому поводу беспокоилось — он-то нам доверяет, но все ли заслуживают доверия?

...Наконец, перешли жить в Мирный. Скоро начнем строительство второго домика для нашего отряда, так как в одном нам не разместиться.

Пришла «Лена». Снова на «рейде» Мирного оживление. Стоят два судна, а между ними снует красный катерок, называющийся «Пингвин».

В эти дни была годовщина гибели Ивана Хмары, который провалился под лед на тракторе. Зимовщики Мирного

присвоили его имя небольшому мысу, у которого произошла эта трагедия, и поставили на скале гранитный памятник. На его открытие собралось много народу, отзимовавшего и остающегося на зимовку. Горестные события поджидали и нас. После нескольких сравнительно безветренных дней в ночь на 28 января задул стоковый ветер в 18—20 м/с¹. Это не обошлось без последствий. Под утро ветер с континента настолько сильно нажал на «Лену», что ее стало отрывать от припая, к которому она была пришвартована. Одновременно стало ломать и сам припай. В результате произошел обвал его кромки, и одни сани с грузом бензиновых бочек полетели в воду. Вместе с ними три человека. Двоих вытащили сразу, а третий оказался на санях, которые поплыли в море, уносимые ветром. Была спущена шлюпка, но ее тоже быстро уносило. Сани и шлюпка уплыли далеко за остров Хасуэлл, где человек был все-таки снят

¹ Гравитационный сток холодного воздуха из внутренних районов Антарктиды к побережью.



Аэрологический отряд второй САЭ. Третий справа — О.Г.Кричак.

с саней. Казалось бы, обошлось, хотя «Лена» уже не могла стать на свое прежнее место, ибо прежнего причала не было. А через несколько дней — катастрофа. После шторма продолжалась разгрузка «Лены». Внезапно обвалился край ледникового барьера с находящимися на нем людьми и грузами. Двое ребят, гидрограф Николай Буромский и курсант ЛВИМУ² Евгений Зыков, были убиты летящими на них бочками. Помочь не было никакой возможности...

Погибших похоронили на одном из островов группы Хасуэлл³. На высоком месте острова, на одном из скалистых уступов, была сделана гробница из железобетона. С почетным караулом гробы доставили на остров; их вынесли на уступ и положили на вечный покой.

Накрыли плитой и замуровали. А над изголовьем, на скале укрепили мраморную мемориальную доску...

13 февраля, в годовщину поднятия флага над Мирным, было прощание отъезжающих с остающимися. К нам, мирянам, приехали многие «ко-операторы». Теперь мы поменялись ролями. После короткого митинга все разбились на кучки, и не было конца рукопожатиям, объятиям, поцелуям... Мы проводили отъезжающих на катере и остались хозяевами в Мирном.

ПОЕЗДА ИДУТ В ГЛУБЬ КОНТИНЕНТА

Уже сразу, как только мы прибыли, стало ясно, что далеко не все так хорошо организовано, как следовало бы. Главная проблема — открытие новых станций Восток, Советская и Комсомольская⁴ — очень осложнилась. Взятый нами транспорт оказался мало

² Ленинградское высшее инженерно-морское училище имени адмирала С.О.Макарова.

³ Остров, где разрослось кладбище Мирного, названный впоследствии о-вом Буромского.

⁴ Внутриконтинентальные станции. Станция Восток была открыта 16.12.1957 г., станция Советская — 16.02.1958 г. и закрыта 3.1.1959 г., станция Комсомольская, открытая 6.11.1957 г., стала сезонной с 1959 г.

пригоден для этого. Тягачи имеют низкую посадку и неширокие гусеницы, из-за чего в рыхлом сыпучем снегу центральной Антарктиды они будут проваливаться. Самолеты же не имеют необходимого радиуса действия. Они были бы хороши, если бы тягачи позволили создать промежуточные пункты для заправки, но машины при больших переходах везут горючее только для себя, а на полезный груз уже пороха не хватает. Возникает сомнение, сумеем ли мы организовать Советскую в этом году, а что касается Востока, есть большая опасность, что пока это будет маленькая станция без серьезной научной программы, отчего ее ценность в ближайшее время будет невелика. Я вижу некоторую возможность улучшения дела при более интенсивном использовании авиации, но мои предложения встречаются не слишком горячо по той простой причине, что сталкиваются разные направления. Продолжаем вести расчеты и доказывать.

...28 февраля поезд Вячеслава Григорьевича Аверьянова вышел на Восток. Это тяжелейшее дело из всех, какие выполняли в Антарктиде. Правда, американцы уже открыли почти все свои станции, но на такие расстояния они не ходили. Станция Восток будет расположена у геомагнитного полюса. Там особенно важно, чтобы аэрологические наблюдения выполнялись по широкой программе. Радиотеодолит пришлось реконструировать. С него сняли металлическую будку, уменьшили раму и разнос домкратов. Все это вмонтировали в домик (балок), установленный на санях, и лишь антенную колонку выставили наружу. Остальное наше аэрологическое имущество пойдет самолетом. С поездом пошел вспомогательный отряд тракторов, который должен вывезти часть саней на склон ледника. Вечером того же дня пришло сообщение, что от выхлопной трубы штурманской машины загорелось два балка — основной, укрепленный на ней, и прицепной. Пожар удалось ликвидировать, но пришлось возвращаться в Мирный для ремонта. Хорошо, что не успели далеко

уйти. Уже утром 1 марта погорельцы пошли обратно к поезду, который дожидался их на 27-м километре. Движение продолжается.

Поезд Аверьянова — один из нескольких, ушедших в просторы Антарктиды. Санно-тракторный поезд, возглавляемый профессором Петром Александровичем Шумским, ведет гляциологические наблюдения на маршруте Мирный—Пионерская⁵. Поезд Василия Сергеевича Пелевина ушел на Комсомольскую... Пока что вести из походов не очень утешительные. На Комсомольской температура 55—64°C ниже нуля. Моторы тягачей останавливать нельзя, потом их не заведешь. А еще двое саней, в том числе с частью продуктов, экспедиция Пелевина оставила на 125-м километре (на вязком снегу тягачи не вытягивали двух прицепов), и за ними придется идти. Но лишь после того, как туда самолетом забросят необходимое горючее. С заброской же дело осложнилось. Из-за низких температур снег там рассыпчатый, и лыжи ЛИ-2, проваливаясь сквозь тонкий наст, вязнут. Приходится, разжигая паклю, смоченную горючим, растапливать снег, после чего он замерзает и образуется ледяная площадка. Самолету очень не просто заруливать на эту площадку и потом с нее взлетать, но пока это единственный способ. При этом бывают поломки лыж. А тут еще стынут моторы. Хоть не садись. Пробовали сбрасывать бочки горючего без посадки, но они разбиваются. И все-таки понемногу летают. Достаточно быстро провести эту операцию не удается, тягачи тем временем съездают привезенное ранее горючее, работая вхолостую на месте. А тут еще часто портится погода в Мирном...

Аверьянов со своим поездом тоже может попасть в такую же ловушку, и его остановили. Он находится на 260-м километре за Пионерской. Теперь задача организации глубинных станций превратилась в задачу поддержания их на тех местах, где

⁵ Станция Пионерская — в 375 км к югу от Мирного; открыта первой САЭ 27.05.1956 г., закрыта 15.01.1959 г.



Защипанные снегом домики аэрологического отряда.

они находятся. Замысел таков: двумя тягачами вернуться на Пионерскую, взять побольше горючего, прийти на этот пункт обратно и здесь Аверьянову зазимовать с ограниченной программой работ. Это будет временная внутриконтинентальная научная станция Восток-1. В начале же весны, когда станет немного теплее, продолжить поход и только тогда работать на условленном месте у геомагнитного полюса. Все это, конечно, меняет наши планы, но делать нечего. Это расплата за поздний приход в Антарктиду, неполноценность тягачей и неэффективность авиации для работы в зимних антарктических условиях.

На Комсомольской ситуация вскоре также осложнилась. Из-за резко понизившихся температур полеты стали небезопасными, и станцию решили законсервировать до весны, оставив на месте всю технику, а личный состав вывезти в Мирный. Станцию Советская, на подступах к так называемому району относительной недоступности, мы в результате также не сможем открыть. Будем надеяться,

что это сделает следующая смена. Что ж, теперь наша задача — выполнить намеченные ранее работы в Мирном, организовать метеорологические и аэрологические наблюдения на Пионерской, в Оазисе⁶ и на Востоке-1.

В Мирном работы по нашей программе начались еще в феврале. В отряде все идет нормально. Переоборудовали площадку, чтобы установить новые приборы, улучшили линии связи и т.д. Начали составлять высотные карты, поручив это Картрайту (сами, конечно, тоже участвуем). Оборудовали хороший самолет ЛИ-2 — новую машину командира Якова Яковлевича Дмитриева — и начали самолетное зондирование и ледовую разведку, хотя у нас эта работа была поставлена как желательная, но не обязательная.

Я начал также хлопотать о специальных полетах с целью определения высоты наших станций Пионерская и Восток-1. Это нужно не только для метеоцелей, но и для гляциологии, гравиметрии и так далее. Пройти Антарктиду геодезической съемкой не-

⁶ Станция Оазис открыта 15.01.1956 г. в центральной части оазиса Бангера (66°16' ю.ш., 100°45' в.д.). Передана Польше в 1959 г. (станция Добровольский).

возможно, и поэтому применяется барометрическое нивелирование. Но при этом нужно учитывать температуру воздуха, а она-то и подводит. В нижнем слое воздух, особенно над глубинными районами континента, сильно выхоложен, и когда измерения делаются на поверхности, не характерная для всей атмосферы температура вносит большие искажения в расчет высоты. Мы теперь уже хорошо знаем о существовании этого слоя температурной инверсии. Над Пионерской в прошлых полетах мы регистрировали возрастание температуры в 300—400-метровом слое на 20—25°. Над Востоком это должно быть выражено еще более четко. Представляется, что если лететь на самолете на верхней границе инверсионного слоя или около него, то высоту полета (по метеопрограмме) можно рассчитать с большой точностью. Это будет высота полета над точкой вылета, т.е. над Мирным. Зная же высоту полета над данной точкой местности по радиоальтиметру, можно определить и высоту этой местности над Мирным, а значит, и над уровнем моря, так как высота Мирного над морем известна.

Наш полет состоялся 9 мая. Обстановка была на редкость интересной. Утром, в 9 часов местного времени, на Пионерской было минус 48°, а на Востоке-1 — минус 66°. Уже в полете узнали, что температура там понизилась до минус 70°. Несомненно, что слой инверсии был выражен хорошо.

Прилетели на Пионерскую. Походили над ней на высоте от 400 до 200 метров, сделали необходимые замеры, послали поздравительную телеграмму зимовщикам с Днем Победы. Видели, как низко ходил над Пионерской самолет Бориса Александровича Минькова. Оказалось, он не смог сесть и улетел обратно в Мирный. Здесь это часто бывает: сверху все видно, как на ладони, — вертикальная видимость хорошая, а в нижнем слое поземок в смеси с туманом видимость уничтожает.

Дальше полетели в глубь континента к станции Восток-1. Полет над Антарктидой не слишком веселое за-



Любопытные аделки рассматривают ящики с оборудованием.

нятие. Глазу не на чем остановиться. Под тобой бело, над тобой — тоже бело или более или менее открытые небеса. Чаще всего горизонт не просматривается — небо слито с «землей» какой-то серой вуалью. Когда просматривается поверхность, видно, что она вся в застругах, образованных ветром. Садиться на них, видимо, не очень приятно. Тягачи, которые здесь путешествовали, бросало на этих «ухабах», как корабль во время шторма... Штурман Тихон Михайлович Палиевский вывел нас точно на станцию Восток-1, хотя приводная радиостанция действует лишь в каких-нибудь 10—20 км. Видим аккуратно поставленные балки, вот стоит отдельно радиолокатор, почти готовый для радиозондирования атмосферы. Еще одно строение — кажется, аэрологический павильон. Чуть дальше — взлетно-посадочная полоса. Но разве при таком собачьем холоде сядешь? Опыт таких посадок уже был. К тому же мы очень спешили: еще над Пионерской обнаружили, что сильно остывают головки цилиндров у моторов, а это при дальнейшем понижении температуры может просто вызвать их остановку.



Австралийцы в гостях у зимовщиков Мирного. В центре первого ряда — руководитель второй САЭ А.Ф.Трешников; второй слева — О.Г.Кричак.

Температура, хотя и понижалась, была значительно выше, чем внизу. Над Востоком-1 мы шли на высоте 290—300 м, и у нас температура воздуха была на 30° выше, чем на земле. Это не всюду увидишь!

...Прилетели в Мирный, когда стемнело. Издалека показались его огни, и ярче всех светил маяк, установленный на башне нашего метеодома. Посадка производилась при «ночном старте». Так называется система ночного освещения. Загораются две линии цветных огней, мы подлетаем к этой светящейся аллее и садимся посредине между яркими цветными цепочками.

На следующий день обработали материалы и вечером собрались у Алексея Федоровича Трешникова, руководителя экспедиции. Я дал краткую информацию о полете и результате подсчета. У нас получилась высота

Пионерской — 2780 м, а Востока — 3380. Интересно, что высота Пионерской, полученная при полете туда и обратно, оказалась почти одинаковой. По-видимому, наш способ достаточно точен и прост⁷.

...Немного о нашем постепенно сложившемся быте. Живем в новом доме. Это большое удобство, даже кажется, что живем до неприличия роскошно. Чистота, коврики, картины. Установили стиральную машину и все осваиваем ее по очереди. Досталась она нам случайно. Разбирая грузы, обнаружили странные ящики с такой надписью: «Отправитель — ХЭМЗ (Харьковский электромеханический завод), получатель — Комплексная антарктическая экспедиция». И далее: «Груз предназначен для крайнего севера Арктики». Вскрыли? оказались стиральные машины. Вообще мы отличаемся тем, что все время учиняем что-то необычное. Про нас в радиозете прозвучал даже «вирш» Анатолия

⁷ Высоты станций впоследствии были уточнены: Пионерская — 2741 м, Восток-1 — 3252 м над ур.м.



Отправление из Мирного санно-тракторного поезда.

Введенского, зимовавшего с нами корреспондента «Правды»:

Ну до чего у Кричака хозяйственный
отряд!
К себе в халупу, про запас, там
тащат все подряд.
Любую мелочь уведут, порою и
машину,
С трудом втащили, например,
стиральную машину.
Но вот проблема: как в мороз, в
паршивую погоду
Иметь в запасе в час любой в
достатке полное воду?
Недолго парни Кричака тут головы
ломали,
Они с неведомых складов мощнейший
ТЭН⁸ достали.
И в лунку льда его воткнув, теперь
имеют воду
И в дождь, и в снег, и в ясный день,
во всякую погоду.
Им смело можно в час любой и
бриться и напиться.
Им только, бедным, невдомек, что это
не годится,

Что из-за них в домах других сидят
порой без света,
Да что с того? Ведь до других им
вроде дела нету.
И я боюсь, что, затаив за критику
обиду,
Они в один прекрасный день
расплавят Антарктиду!

Что верно, то верно: и ТЭН
достали, и в лед вмонтировали его, и
водичку имеем без ограничения, хотя
все лунки у других уже позамерзли, и
люди пользуются снегом или льдом.
Но энергии мы расходует не очень
много (ТЭН включаем только время от
времени), и ничего страшного нет.
Все, в том числе и мы, весело
смеялись..., а ТЭН продолжал расплав-
лять Антарктиду.

«Парни Кричака», как нас уже
многие величают, на этом не успокои-
лись. Мы присмотрели бездействую-
щие маяки — морские баки —
ацетиленовые. Они опять-таки были
засланы в Мирный по ошибке. Взяли
две штуки. Переделали их на электри-
ческое освещение и водрузили один
на обсерваторском здании нашем, а

⁸ ТЭН — это теплонагреватель; в общем —
мощная спираль. — Прим. авт.



Первая «квартира» О.Г.Кричака.

другой — на деревянном домике, который установили на метеорологической площадке, и они ярко освещают большое пространство. Теперь в пургу ходить на площадку не опасно — свет виден, и с дороги не собьешься. А ведь прошлая смена мучилась, преодолевая этот путь в сотню метров, особенно ночью, в пургу.

Пролет между двумя нашими домами превратили в склад, а оба тамбура соединили общим коридором. Получилось замечательно. Теперь нам не страшны никакие заносы. А между домиками вышло такое помещение, что хоть дачу сдавай. Есть предложение дать в московскую «Вечерку» объявление, что на юге, у моря, сдается на май—сентябрь уютная дача. Может быть, и нашлись бы желающие приехать...

Правда, на этом снегоборьба не заканчивается. Как ни строй, а какая-то наружная дверь должна быть, и ее может заносить; но и тут можно еще кое-что сделать — на всякий случай у нас есть выход на крышу.

По-настоящему мы почувствова-

ли, что такое Антарктида, когда нас начали донимать глубокие циклоны, с затяжными метелями и ветрами до 25—30 м/с. Их пора началась с марта и продолжалась до октября. Передвигаться при сильном ветре трудно, но возможно. Главная же сложность для нас — в выпуске радиозондов. Иной раз два-три зонда разбиваются, прежде чем удастся выпустить без аварии. Применяем разные способы, чтобы не допускать срывов. На аэрологическом сарае сделали вертикальную ширму. Она уменьшает скорость ветра у самого выхода из павильона, но создает сильные завихрения. Как только шар начинает подниматься, его увлекает в вихрь, и он, как ни странно, летит вниз, потом обратно к павильону, и так его крутит до тех пор, пока чудом не выбросит из вихря. Зонд при этом либо ударяется о снег и разбивается, либо от сильной встряски перья заскакивают в неположенные места, и сигналы пропадают, или же перо втыкается (как мы думаем) в какой-нибудь зубец, и идет все время один и тот же сигнал. Включился и я в изобретательство. Наиболее простое мое предложение — бамбуковый шест длиной в 6 м, на конце которого прибита планка в виде



В день рождения А.Воедского. О.Г.Кричак играет на мандолине.

семафора. Вешаем зонд на планку и поднимаем на высоту шеста. Шар выпускается, и сам срывает зонд с перекладины, но так как он уже на некоторой высоте, то, по идее, не должен достать до земли и может улететь нормально.

Первый опыт прошел очень хорошо, но потом пошли неудачи. Как-то вечерний зонд выпустили лишь после третьей попытки. Два зонда угробили. После первой аварии притащили мою «кочергу». Зонд сносило на бугор снега, надутый ветром. Семен Семенович⁹ решил ловить его там. Я поднял зонд на мачте, а шар вынесли из павильона и, подождав немного, выпустили. Он сорвал зонд с перекладины, и все должно было идти нормально, но ветер понес его на бугор, причем со снижением. «Кочерга» явно не сработала, и зонд должен был разбиться, но Семен Семенович во вратарском броске летит на зонд,

успевае́т схватить его и... по вратарской привычке подминает зонд под себя. Шар отрывается и улетает, а покореженный прибор остается в руках победителя. Все же бросок был не напрасным: передатчик уцелел и пошел в следующий раз.

С выпуском радиозондов постепенно приспособились, но появилась другая беда — низкие высоты зондирования. Все начали объяснять это влиянием метелей — обледенение оболочек, повреждение их быстро летящими снежинками и так далее. Семен Семенович решил доказать, что дело не в этом, а в плохой обработке оболочек, и стал сам очень аккуратно прогревать их, смачивать бензином и тщательно заворачивать в старую оболочку. Высоты заметно повысились, хотя относительно. Вообще же они — около 20 километров. Но и это не плохо.

Продолжительные метели и ветры до 30 м/с стали привычными. Ходить приходится осторожно. При облачной погоде света вообще не очень много, да и тот рассеянный. В этой белой тьме исчезают тени, и рельеф местности полностью теряется. Идешь и не замечаешь, что перед тобой — снежный холм или впадина. Постепенно

⁹ С.С.Гайгеров — в период экспедиции ст. научный сотрудник, аэросиноптик; впоследствии доктор географических наук, профессор.

нанесло много снега. Вот один пример. Сначала, идя в кают-компанию, мы проходили под телефонным проводом, не задвывая его головой. Потом нагибались под ним, а в мае уже переступали через него. Вход в наш дом долго держался, но постепенно все более превращался в ямку, быстро заносимую снегом, и, наконец, очищать его стало невозможно. За полчаса полностью заваливало всю дверь снова. Откроешь ее изнутри, а за ней — сплошной снег доверху. Стали ходить через крышу, вернее, через вышку, дверь которой выходит на крышу. Гораздо сложнее обстояло дело у водородного сарая. Здесь намело так много снега, что перед каждым выпуском зонда приходилось откапывать проход, чтобы войти в сарай и вытащить зонд. Ввели специальную бригаду по расчистке. Она выходила за час до срока зондирования и расчищала выход, который к этому времени полностью заносился. Решили строить башню, которая, мы надеялись, радикально улучшит дело.

...В свободное время мы готовим концерт в честь 250-летия Ленинграда. Вечер назначен на 22 июня. Давно уже сложился маленький музыкальный ансамбль, а ленинградцы организовали хор. Репетируем после ужина. Подготовили несколько песен советских композиторов и, кроме того, две вещи на слова Введенского — «Антарктический вальс» и «Антарктический марш», к которым я сочинил музыку. Говорят, что концерт прошел хорошо. Он был записан на пленку и будет передан нашим станциям. Вальс пел Владимир Загорский — наш шеф-повар. Ансамбль играл слаженно, и все было, как на настоящем концерте. Бурные аплодисменты, вызовы авторов. Руководство даже внесло предложение всей экспедиции разучить наши песни и петь их всюду — в Мирном, на поездках, которые пойдут в глубь Антарктиды, на станциях, на кораблях. Предложение было принято, и мы с Введенским теперь — вроде придворных сочинителей.

...В канун МГГ начался первый

международный аэрологический интервал. К этому времени стали зондировать дважды в сутки на станциях Оазис и Восток-1. Молодцы! Как ни тянули, успели вовремя. А в Мирном перемен нет, мы и так зондируем четыре раза в сутки. Есть, правда, одно знаменательное событие — мы подняли аэрологическую вышку. Этот одиннадцатиметровый параллелепипед возвышается теперь над всей окрестностью.

1 июля — начало МГГ. Прошло полгода нашего пребывания в Антарктиде. А кажется, что больше. За это время головы наши настолько поглотили антарктической тематикой и всеми сторонами экспедиционной жизни, что по силе впечатлений это равносильно нескольким годам жизни в обычных условиях. Все, что мы хотели сделать после того, как наши планы были скорректированы здесь на месте, мы сделали, но всех нас гложет то, что первоначальные замыслы осуществлены далеко не полностью — отсутствие станций Восток и Советская не дает покоя, это остро ощущается при анализе карт. Причины всем известны, и похоже, что в этом году гляциологические походы не будут проводиться, пока не станет ясно, что транспорта достаточно для основных целей, т.е. для открытия станций.

Испытания нашей башни, в том числе и при ветре до 30 м/с, показали, что замысел явно удался. Мы завершили мелкие доделки (телефонизацию и пр.) и приступили к ее нормальной эксплуатации.

Несколько раз разговаривали с Литл-Америкой¹⁰. Интересовались способами выпуска радиозондов, особенно при сильном ветре. Оказалось, что американцы выпускают зонд через шахту, так как засыпаны трехметровым слоем снега. Но уже при 30 узлах (15 м/с) им это не удастся. Высота зондирования у них в среднем 18—19 км. Такими результатами хвастаться нельзя. У нас ветры посильнее, временами до 35—40 м/с, но срывов при

¹⁰ Американская станция на побережье моря Росса, в западной Антарктиде. Закрыта в 1958 г.

этом не было. Средние высоты у нас также больше — примерно на один километр. Есть, правда, одно важное обстоятельство: Литл-Америка расположена несколько южнее нас, и на высотах температуры там могут быть ниже, а это ограничивает высоту подъема оболочек. В отличие от нас они не проводят зимних полетов.

...Наша самолетная программа была чрезвычайно насыщенной и интересной. Об одном таком полете — на станцию Оазис — хочу упомянуть. Первый раз я летал в Оазис в начале зимовки, а в июле снова решил побывать там, посмотреть зимний пейзаж Оазиса и зону вокруг него. Следовало разобраться в природе этого уголка. У нас сложилось мнение, что главной причиной существования Оазиса является сильный ветер, выдувающий оттуда весь снег. Не будь ветра, давно бы зарос Оазис ледниками, хотя там есть и выступающие скалы и горки.

Выбрали время, когда с запада приближался циклон. Прилетели в Оазис. Он, на удивленье, весь в снегу. Несколько дней назад здесь был снегопад, и с тех пор ветра не было.

В Оазисе произошли перемены. Построены новые домики, стоит аэрологический павильончик, маленький, но удаленный. Вообще все довольно ладно. Флюгер и Черныш заметно подросли. Приветливо бросаются к самолету и к людям. Эти собачки стали совсем антарктическими и даже любят «дуть», как в Оазисе называют сильный ветер. Потом, когда мы улетали и заработали моторы нашего самолета, оба пса бросились под струю винта и стояли до тех пор, пока их не свалило, а затем начали кататься по снегу под той же струей. Все на станции им любопытно. Мне показали анемометр от градиентной установки, который был вырван со стойки ураганом. Разглядывая его, я удивился — откуда дырки на чашках? Оказалось, к анемометру, укрепленному на нижнем уровне градиентной стойки, как-то подошел Черныш и долго смотрел на его вертящиеся



На юбилей Г.Картрайта. Праздничный торт.

чашки, потом приблизился, видимо, желая понюхать, но получил удар по морде и, не стерпев обиды, набросился на прибор. Отсюда и дырки.

Возвращаясь в Мирный, мы облетели вокруг Оазиса. Как ни странно, на леднике, лежащем к югу и востоку от него, снега почти нет — лед обнажен, даже морена не занесена. Значит, здесь и сейчас ветер. И так, как будто становится ясно: стоковый ветер в районе Оазиса тоже существует, как и всюду, но он не проникает к станции, защищенной гористой местностью. При подходе же циклона циклонический ветер здесь оказывается совпадающим по направлению со стоковым, и это усиливает ветер, который врывается во внутренние районы Оазиса и безобразничает там. Сметая снег, он оголяет выступающие коренные породы — вот и природа Оазиса. И действительно, вернувшись, мы узнали, что уже к утру снег там

начисто сдуло. Картина, которую довелось увидеть нам, появится в Оазисе не скоро!

Подошедший циклон дал небывалую пургу также и в Мирном. Она длилась с 24 июля по 2 августа. Максимальная скорость ветра по индукционному анемометру составила 45 м/с но, возможно, было и больше. 31 июля в 12 часов дня вдруг наступило затишье, но через 40 минут ветер вновь усилился с таким остервенением, как будто хотел наверстать упущенное. Когда нас потом спрашивали, что случилось, мы не смогли ответить ничего более вразумительного, как то, что у нас испортился прибор и мы временно выключили ветер.

Но самый сокрушительный ураган, повредивший нашу аэрологическую башню, разбушевался в ночь с 14 на 15 августа. В отряде мы как раз собирались отметить день рождения Картрайта. Заказали торт с 48 свечами, по количеству лет именинника. На 17 часов местного времени был назначен разговор с Литл-Америкой. Но незадолго перед этим часом ветер начал усиливаться. Правда, скорость его была не больше 20 м/с, и мы с Картрайтом пошли на рацию. Видимости практически не было: началась низовая метель, снегопад, потом общая метель. Когда мы пришли на рацию, всё кругом уже гудело, здание стало трясти так, что с полок посыпались книги. Я спросил по телефону метеостанцию, распорядился почаще записывать анемографом, но и без моего напоминания там все были встревожены. Вскоре выяснилось, что домик, стоящий на метеоплощадке, стукнуло и слегка повредило бочкой, невесть откуда принесенной, и что ветер начал разрушать нашу башню. Порывом ветра сначала был вырван один щит, потом другой, а затем начало рвать занавесы. Верхнюю половину башни теперь продувало насквозь, и выпуск зондов стал невозможен. Аэрологи мужественно пытались как-нибудь выпустить зонд, но оболочка разрывало и ничего не получалось.

Слышимость Литл-Америки резко

ухудшилась, и разговор пришлось прекратить. По стрелочному индукционному анемометру максимальный ветер был до 49 м/с. Последовал приказ — никому не выходить из помещения. Мы оказались отрезанными от своего дома. Об именинах уже речи не было... Через некоторое время ветер несколько ослабел, и мы решили пробираться домой. Шли впятером, крепко сцепившись руками, на десяти ногах. Мотало довольно чувствительно. То одного, то другого сбивало с ног, преимущественно крайних, но все крепко держались. Только у самого дома пришлось разорваться на две группки, и нас двоих свалило и потащило, но здесь уже было не опасно — выкарабкались и все благополучно ввалились через вышку на крыше в дом.

На следующий день ветровая баталия еще продолжалась. Как оказалось потом, после обработки анемogramмы, между шестью и семью часами, был наибольший порыв ветра — 51 м/с. Семен Семенович кое-как прошел до кают-компания и пытался заполучить плотников для ремонта башни, ибо уже три срока зонды не выпускались. Это был первый и единственный срыв зондирования. Два плотника и Семен Семенович с большим трудом связали несколько листов картонной плиты и при ветре 30—35 м/с притащили их к вышке, где немедленно начали ремонт. Одновременно мы стали шить новые полотнища занавеса. Днем, в установленный час, зондирование возобновилось.

День рождения Картрайта был перенесен на завтра. Именинник пришел в восторг, увидев торт и зажженные свечи. И действительно, торт, изображавший часть глобуса с Антарктидой в центре и кусочками Южной Америки и Австралии, вокруг которых светилось 48 огней, был великолепен... Вечер прошел очень весело. Как всегда, не обошлось и без музыки. Она давно уже вошла в наш быт.

Станет ли наука экзотикой?

Беседы М.Я.Азбеля и М.И.Каганова о судьбах науки

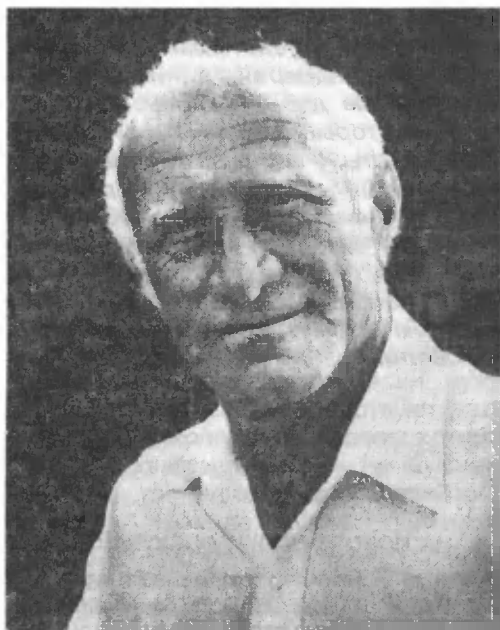
Мы как-то замкнулись последнее время во внутренних проблемах, связанных с неопределенностью перспектив отечественной науки, обычно подразумевая, что за рубежом она если и не купается в роскоши, то уж во всяком случае существует вполне достойно. Но оказывается, что у многих ученых вызывает тревогу и судьба мировой науки. Нам кажется, что читателей «Природы» заинтересуют размышления о будущем науки двух известных физиков, большую часть своей жизни проработавших в Советском Союзе и в разное время эмигрировавших из него, — М.Я.Азбеля и М.И.Каганова.

Инициатором бесед был М.И.Каганов, ему принадлежат вступительные и заключительные слова, выделенные курсивом.

ВСКОРЕ после приезда в Бостон, полтора года назад, я узнал, что Марк Азбель проводит в Гарвардском университете свой *sabbatical year*¹. Конечно, это обрадовало: многие годы (17 лет) мы не виделись, даже не переписывались, хотя я следил за судьбой Марка Яковлевича после его выезда из Советского Союза в 1977 г. Его работы нередко встречались в ведущих физических журналах мира: в «Phys. Rev.», «Phys. Rev. Lett.». Он продолжал заниматься биофизикой и физикой конденсированного состояния вещества и, несомненно, не только не потерял той известности, которую ему принесло открытие циклотронного резонанса в нормальных металлах — резонанса Азбеля—Канера (как в западной печати принято называть открытое М.Я.Азбелем и Э.А.Канером в 1955 г. явление), но и приобрел новую своими работами, сделанными в последние полтора десятилетия.

Переехав в Израиль, М.Я. принял активное участие в международной научной жизни. (Небезынтересно заметить, что профессором Тель-Авивского университета М.Я. стал почти за пять лет до того, как его выпустили из Советского Союза, и некоторое время он читал лекции по телефону.)

Интересы Марка не ограничены физикой. Когда мы впервые заговори-



Профессор М.Я.Азбель

ли о науке (темами наших первых бесед были воспоминания, ситуация в России, Израиле, Америке, во всем мире), оказалось, что он серьезно интересуется проблемой старения и смерти. На эту тему он написал три статьи, выступал с докладами во многих местах (в Гарварде, Bell Lab, IBM и др.). В магазине русской книги «Lavka chitatelya» Марк выступил с докладом на тему о судьбах эмигра-

¹ Предоставляемый профессорам университетов раз в пять—семь лет, годичный отпуск для научной работы.

ции. С ним интересно говорить на общие темы. Ему всегда свойственна «категоричность» суждений. Она сохранилась до сих пор с тем важным отличием, что раньше он, как правило, употреблял формулы: «Я знаю, я уверен», а теперь значительно чаще: «Мне кажется, я думаю...»

Однажды у нас дома из общего трепа возник разговор о будущем науки, и нам захотелось поделиться с читателями «Природы» своими мыслями на эту тему, ведь мы оба — авторы этого журнала. Продолжили разговоры потом в прекрасном кабинете Марка в Гарварде уже с магнитофоном. В широкие, почти во всю стену, окна был виден университетский двор, представляющий собой огромный дендрарий, в них заглядывали вековые дубы и клены. Гарвард, как и некоторые другие американские университеты, поражает сочетанием современных условий и традиций старых английских университетов, которые в Америке пытаются сохранить. Итак, мы включили магнитофон и попытались вести беседу на заданную тему. Но опыта таких разговоров у нас не было, вопросы



Профессор М. И. Казанов

заранее не готовились, иногда мы начинали размышлять на одну тему, но натыкались на другую, гораздо более интересную. Перенести разговоры на бумагу мы попросили Т. Ю. Лисовскую, что она и сделала, превратив магнитофонные записи в связный текст.

Беседа первая

НА ПОРОГЕ ЭПОХИ ОБСКУРАНТИЗМА

К. Марк, у тебя есть мысли об изменении роли науки в современном обществе, мне они интересны, думаю, будут интересны и нашим читателям.

А. Мы с тобой хорошо помним то время, когда слово «ученый» было почти синонимом слов «добрый волшебник», а портрет Эйнштейна украшал множество обложек и висел на стенах в знакомых домах наравне с портретами предков. Эйнштейн воспринимался как квинт-эссенция мудрости, не было такого положительного эпитета, который бы к нему не применялся, он стал

символом всего хорошего.

Если мы сейчас полистаем газеты и журналы, то обнаружим, что хотя Эйнштейн еще и не стал символом всего плохого, но в них уже можно прочесть, что он был бабником и что украл основные работы даже не у Д. Гильберта или А. Пуанкаре (это было бы еще полбеды, все-таки они были великими учеными), а у своей первой жены Милевы Малич. Поэтому он с ней потом и развелся, — заранее при разводе отдав ей Нобелевскую премию, которую тогда еще не получил, но был уверен, что получит. Сделал он это не из благородства — просто самое малое, что он мог для Милевы сделать — это отдать заслуженную ею премию (Насчет того, что отдал Нобелевскую премию — факт.) Об

этом сейчас столько пишут в общей прессе, что были публикации даже в «Phys. Today» по этому поводу. Сегодня ученые становятся символом всего плохого. Почему?

На науку возлагались огромные надежды, она их и оправдала: когда мы учились в школе или в университете, не существовало того мира, в котором мы сейчас живем. Если мы окинем все кругом взглядом, то увидим, что множество вещей — от магнитофона до персонального компьютера, электронных часов, можно перечислять без конца, — все создано с помощью науки. Но наука не сделала двух вещей: не обогатила те фирмы, которые на это справедливо рассчитывали, и не сделала простых людей (будем называть их обывателями) счастливыми.

Почему наука не обогатила фирмы? Потому что патент, основанный на фундаментальном открытии, выдаваемый сейчас примерно на 20 лет, устаревает быстрее, чем начинает приносить дивиденды. Фирмы, занимающиеся разработками в области фундаментальных наук сочли, что это не выгодно. Тем более, что юридическая казуистика позволяет другой фирме так сформулировать текст патента на изделие (основанное на том фундаментальном открытии, на которое патент уже взят), что доходы от продажи этого изделия достанутся ей, а не той фирме, которая запатентовала фундаментальное открытие. Такую подмену значительно труднее сделать, если фирма занята конкретным техническим усовершенствованием, патентуя каждую мелочь. Нельзя исключить того, что если бы ученые добились выдачи патентов в области фундаментальных наук на 35—40 лет, деньги потекли бы рекой.

Для развития фундаментальной науки старая, добрая капиталистическая система оказалась неработоспособной. Это тем более так, если речь идет не о глобальных, ярких открытиях. К истинно глобальным вопросам науки привлечено внимание, и деньги на них появляются... Но яркие, истин-

но глобальные открытия бывают редко.

А что слышит обыватель о науке постоянно? Что она создала все зло на свете — от атомной бомбы до загрязнения окружающей среды. Деньги, с точки зрения обывателя, она поглощает бешеные, проекты стоят уже миллиарды долларов, а зачем обывателю нужны, к примеру, сверхускорители? Он не хочет сегодня тратить на это деньги, он не понимает, что по сравнению со всем остальным — это абсолютные гроши. Кто ему это объяснит?

В свободном обществе, если в науке никто не заинтересован — ни предприниматель, который волен тратить или не тратить свои деньги, ни у кого не спрашивая, ни обыватель, а стало быть правительство (которое не может тратить деньги, если это не санкционировано обывателем), — никто деньги на науку и не будет тратить. Да и пресса, которая живет на деньги обывателя, с восторгом кричит науке «улюлю». Сегодня пресса настроена очень антинаучно, я не преувеличиваю. В лондонском «Times» на первой странице всерьез обсуждается проблема, стоит ли учить детей в школе математике, ведь, если нужно что-то сосчитать, то существуют калькуляторы, а коли есть чудачки, которые хотят забавляться никому не нужными вещами, то пускай сами за это и платят. А нам-де нужны психологи, врачи, социальные работники — есть много полезных профессий. Так скажите, если предприниматель, обыватель, а значит и правительство, и пресса, дружно кричат, что точные науки никому не нужны, то, спрашивается, как в демократическом обществе может выжить наука?

И так не в одной стране — это общая ситуация, об этом все время пишут «Phys. Today», европейские и японские журналы. Безусловно, когда начнут сказываться последствия таких процессов, маятник качнется в другую сторону. Но сегодня, похоже, мы находимся на пороге века **обскурантизма**. Думаю, скоро начнут закрываться университеты. Конечно, не все.

Но всюду идет обсуждение, не лучше ли учить студентов по телевизору.

А что же ученые? У меня создается впечатление, что ученые искренне верят: в демократическом обществе демократия распространяется на все, начиная с выборов президента до борьбы с терроризмом и порнографией, и только наука и искусство замечательным образом являются исключением. Известно шутовское определение науки как удовлетворения любопытства ученых за общественный счет. Зададим вопрос, в какой мере общество готово предоставить возможность удовлетворять свое любопытство каждому желающему и в какой мере каждый желающий может позволить себе удовлетворять свое любопытство, не считаясь с обществом? Увы, в «обычной» жизни ученые отвыкли просчитывать ситуацию на полшага вперед...

К. Ты прав. Ученые не воспринимают себя как некую социальную группу, не понимают того, что своим поведением они должны себя защищать, учитывая интересы и тенденции того общества, в котором они живут и которое им в общем нравится. Во всяком случае ни в России, ни на Западе ученые не считают себя революционерами, не стремятся общество изменить. У них, к сожалению, действительно часто отсутствует социальная психология. Пока ускоритель не закрывают, о своих взаимоотношениях с обществом они, как правило, не задумываются. Может быть, оттого, что ученые считают себя настолько элитарной группой, что могут себе позволить жить вне законов общества?

А. Все, увы, еще проще. До XX в. ученых было так мало, что и вопросы такие не возникали. А в XX в. их так вознесли, что и задумываться не стоило!

К. Как тебе кажется, за последние двадцать лет в самоощущении ученых и в отношении к ним общества уже произошли коренные изменения?

А. Да, конечно. В 70-е годы ученые себя чувствовали достаточно уверенно, хотя пик их взаимной любви

с обществом пришелся на 60—65-е годы. Потом уверенность начала выветриваться. Сейчас — это паника. Приведу страшный пример. Когда я приехал в первый раз в Америку, там существовало две столицы физики конденсированного состояния — Bell Lab. и IBM. В них работало множество нобелевских лауреатов, лаборатории были прекрасно оснащены. Ученые из Bell Lab. гордились, что именно там изобретен транзистор, что в отличие от университетских профессоров им не нужно было бороться за гранты, каждый делал, что хотел... Сегодня Уотсоновский научный центр в IBM, некогда гигантский комплекс с тысячами людей, напоминает кладбище. Он в сущности закрылся, большую часть тех, кто занимался фундаментальной наукой, выгнали. (Это все равно, что разогнать весь Московский университет!) Уволили, в частности, крупного ученого, заведующего лабораторией, одного из тех, кто в IBM «родился» и верил, что здесь и умрет. Представь такого человека безработным! В свои 60 лет он тратит два часа на дорогу (в оба конца — 4), чтобы прочитать часовую лекцию в университете, и страшно счастлив, что хоть чем-то может заниматься.

К. Так что же, дай Бог, чтобы наука дожила до 2025 г.?

А. Или даже до 2015... Я не имею в виду, что перестанут существовать ученые. Просто научная деятельность станет экзотикой, вроде вырезания китайского шара в шаре.

К. Ты думаешь, что за ближайшие два десятилетия масштабы могут заметно измениться?

А. Да, скажем, вдвое. Я думаю, что количество денег, отпускаемых на науку, не будет существенно меняться, но за счет инфляции реальное их количество сильно уменьшится. Если, конечно, ученые не отвлекутся от своих бумаг и не создадут свое лобби, которое разъясняло бы обществу, что наука занимается нужными для него вещами (существует ведь лобби производителей нефти, а они гораздо более могучи).

К. Если все же возникнет научное лобби, у него будет, в частности, строго определенная задача: удлинить срок действия патентов в области фундаментальных наук...

Беседа вторая

ЧТО ДЕЛАТЬ?

К. Марк, прочитавшие нашу первую беседу придут в уныние. Что же делать? Есть ли хотя бы принципиальная возможность изменить ситуацию?

А. Повторю еще раз. У общества масса проблем, а ученые заняты удовлетворением своего любопытства. А потом удивляются, что остались за бортом. Либо ученые будут устремляться туда, где в них есть живая, реальная потребность, либо они будут продолжать развивать те области, которые хорошо знают.

Вот характерный пример. Не нужно рассказывать, кто такой П.Де Жен: нобелевский лауреат, всеми признан как первый (среди ныне работающих) физик Франции, его влияние колоссально. И вот на протяжении одного или даже двух десятков лет он проводит очень четкую линию, состоящую в том, что Франция не может соревноваться с Америкой в тех областях науки, где требуются большие вложения денег. Поэтому во Франции не должны заниматься всей наукой, а только теми направлениями, которые не требуют больших затрат и дают практические результаты. Сам он занимается и полимерами, и клеями, работает над техническими проблемами, встречается с инженерами. Он уже давно понял, что сегодня наука не может оставаться только интеллектуальным развлечением.

К. Я бы побоялся делать столь однозначные выводы, а главное, давать столь определенные рекомендации. Слишком уж они напоминают требования начальства в советский период, чтобы деятельность научных работников приносила сиюминутную пользу. Конечно, у ученых еще мало

опыта. Наука как сформировавшаяся область человеческой деятельности существует не более 150—200 лет, а может быть, и еще меньше. Но весь опыт показывает, что даже когда ученые не думают о практических результатах, а просто вроде бы удовлетворяют свое любопытство, полученные ими результаты очень часто дают огромные плоды. Их деятельность оказывается нужной, вне зависимости от того, осознавали ли они практическую важность своей работы, когда ее начинали, или нет. Харьковский физик Б.Г.Лазарев сформулировал когда-то такое утверждение: «Хорошую инженерную задачу может решить только физик». Вопрос реального прогресса в технике решается не в самой технике, а в пограничных областях, черпающих свои идеи, как правило, в физике. Он приводил массу примеров, когда инженерные задачи, над которыми годами бились во всяких НИИ, потом решались в физических институтах и затем передавались технологам.

А. Вот именно! Именно так порою возникала истинная наука. Я технику плохо знаю, но знаю, что закон возрастания энтропии родился в паровой машине. А вот пример из области, пограничной между техникой и микробиологией. В западном обществе бешеные деньги тратятся на борьбу с терроризмом. Однако никакие террористические акты не могут конкурировать с деятельностью бактерий, которые (в отличие от ученых!) быстро приспосабливаются к меняющимся условиям. Я сейчас не говорю о вспышках эпидемий. Я говорю о том, что бактерии начали «кушать» пластмассу, портить металл. Скоро самолеты начнут разваливаться не от бомб, а просто потому, что их «скушали» бактерии. Какая-то научная фантастика наяву. На самом деле они, конечно, «кушают» не сам металл: если на его поверхности образуется лужица, бактерии замечательным образом перерабатывают ее и выделяют продукты распада, приводящие к появлению микротрещин на поверхности

металла. Все это можно внятно объяснить и сказать: если не заниматься этой проблемой, завтра самолеты один за другим начнут разваливаться. И общество скажет: «Мы не хотим садиться в такой самолет!»

Бесконечно устарело то, что связано с аэропортами, количество катастроф растет, и тут дело не только в технике: резко возросли нагрузки на аэропорты, на службы контроля, там масса проблем, не буду перечислять. А ученые по-прежнему нередко живут позавчерашним днем.

Или еще — проблема возросшей неустойчивости биржи из-за чрезмерного быстрого действия используемых там компьютеров.

К. Ты обещал поговорить о медицине.

А. У меня впечатление, что через 10—20 лет богатая, как принцесса, медицина может оказаться в таком же положении, как сегодня физика. Потому что, если станут излечимы все виды рака, ожидаемая продолжительность жизни (life expectancy) увеличится, в зависимости от возраста, на 2—3 года (у новорожденных — на 2, у семидесятилетних — на 3). Если справиться с сердечно-сосудистыми заболеваниями, — увеличится на 12 лет. А если исчезнут вообще все болезни, — на 13 лет.

Сравним с тем, что было 150 лет назад. Тогда больше половины населения не доживало до 35 лет. Сегодня в развитых странах до этого возраста не доживает меньше процента населения, а около половины — живет больше 80 лет. В Японии и Швеции каждый сотый — столетний.

Раньше основная задача медицины состояла в том, чтобы люди не умирали рано. Она ее решила, а что теперь? Какими теперь должны быть ее основные задачи?

К. Есть еще задача геронтологии — сделать человека в последние годы его жизни если не полезным членом общества, то хотя бы счастливым. Не знаю, потребует ли геронтология такого же количества специалистов, что и борьба с заболеваниями, но работы хватит.

А. Действительно, перед геронтологией сейчас стоит важнейшая задача: сделать человека в его последние годы именно полезным и работающим, а не только счастливым членом общества. Количество пенсионеров растет такими темпами, что если они не смогут работать, им придется умереть от голода. Уже через 50 лет на одного работающего придется четыре пенсионера. А геронтология возникла всего около полувека назад — раньше эта задача казалась неразрешимой.

Беседа третья

СКОЛЬКО НУЖНО ФИЗИКОВ?

К. Если проследить рост числа научных работников во второй половине XX в., вызванный холодной войной, и экстраполировать на 2005 г., то становится очевидным, что он не мог продолжаться долго. Безудержное увеличение количества ученых могло бы привести к более трагическим последствиям, чем его торможение. Наука стала массовой, и как следствие она стала разъедаться изнутри за счет притока посредственности. Возьмем физику (об остальном мы знаем только понаслышке): по твоим личным ощущениям, не слишком ли много физиков, и что делать, если слишком?

А. С моей точки зрения в такой абстрактной постановке вопрос неправилен. Нужны — зачем? Слишком много или мало — для чего? Единственно, кто ответит на этот вопрос, — не физики, а обыватели, общество. Как? Долларами (или рублями).

До XX в. наука не была профессией — в том смысле, что ученые удовлетворяли свое любопытство за свои же деньги. Сегодняшняя наука, мы хорошо это знаем, требует денег, их не хватает не только российским ученым, но и западным. На Нобелевскую премию можно купить дом, если получил ее на одного. Если на троих — то и хорошего дома не купишь.

Недавно в институте Вайцмана организовали маленькую новую лабо-

раторию. Стоимость 15 млн. долл. И это только начало, в дальнейшем потребуется больше. Если мы хотим пригласить экспериментатора на должность, которая в будущем станет постоянной, надо дать ему 300—500 тыс. долл. на первые три года. Иначе брать бессмысленно. Написание заявки на грант грустно напоминает то, как мы в Союзе сочиняли планы научной работы на будущее, включая в них то, что уже сделано. Значит, если мы хотим, чтобы наши студенты находили работу (а, стало быть, мы имели студентов), придется отбросить рецепты прошлого. И всерьез подумать о будущем.

К. Марк, у меня возникает впечатление, что ты несколько драматизируешь необходимость прагматичности. Перед моим мысленным взором математик. Он не занимается ни банковским делом, ни системным анализом деятельности аэропортов. Он доказывает великую теорему Ферма. И общество платит за это!

А. Тут весь вопрос в количестве. Если завтра в Америке останется 100 ученых, они смогут заниматься всем, чем угодно. Но я не могу себе представить, чтобы 10 000 ученых доказывали теорему Ферма! Думаю, что тогда 9990 занимались бы онанизмом. Замечу, что тот математик, который доказал теорему Ферма, изначально не планировал доказывать ее. Он занимался топологической алгеброй и лишь потом понял, что оба вопроса связаны, — справедливость некоторого утверждения в «его» науке означает, что теорема Ферма верна.

Вернемся к твоему вопросу о том, сколько нужно физиков. Смотря — каких. В Америке есть Макартуровская стипендия для талантливых ученых — 300—500 тыс. долл. на пять лет (в зависимости от возраста), и если ты такой замечательный, что ее достоин, делай, что хочешь. Чем талантливее, тем независимее. Так вот, если задаться вопросом, сколько ученых такого уровня нужно обществу, то не надо обижаться, если окажется, что не больше 1000.

Беседа четвертая

НУЖНА ЛИ УЧЕНОМУ РЕКЛАМА?

А. В майском номере «Phys. Today» я прочитал поразительную историю. Оказывается, почти одновременно с Дираком, работавшим над своей знаменитой статьей об уравнении для волновой функции электрона, в котором используются матрицы 4-х вектора спина, советские ученые Л.Ландау и Д.Иваненко опубликовали в сущности очень близкую по идее работу. Ландау уже тогда был известен, статья напечатана в «Zeitschrift für Physik», который тогда читали все, и... она ушла на дно, даже не создав волн. В.Паули в своих воспоминаниях на многих страницах перечисляет всех, кто хоть как-то был причастен к проблеме. Увы! Он даже не упоминает Ландау!

К. А статья была правильная?

А. В том-то и дело, что правильная! Автор письма в «Phys. Today» (E.Augenstein) утверждает, что это была одна из фундаментальных попыток решить проблему. Попытка не была замечена потому что статья написана слишком трудоемко, слишком много требовала от читателя. А уравнение Дирака было просто, понятно, наглядно.

Другой пример (значимость проблемы в данном случае не играет роли). Мы с Б.Гальпериным сделали некую работу. Мы все обсудили, я написал статью, считая, что за день-два он внесет мелкие поправки и статья будет готова. Прошло довольно много времени, но я получил ее практически полностью переписанной! Она действительно стала гораздо более читабельной, потому что он потратил на нее очень много своего времени. А он — один из самых крупных американских физиков!

К. Я хорошо помню, как в Харькове в УФИТИ ты мне говорил: «Как противно: кроме того, чтобы сделать работу, надо тратить время на написание статьи».

А. Увы: даже теперь, когда я

понимаю, как важно хорошо оформить статью я продолжаю писать плохо. В этом смысле я вполне советский ученый.

Я как-то беседовал в Израиле с физиком, переехавшим туда из Америки. Он говорил: «У меня работает несколько человек — эмигрантов из России. Я поражен: они думают: если результаты получены, значит, дело сделано. Не понимают, что это только 40% дела. Надо ведь написать статью — а на это уходит 60% усилий».

Демократия по определению — царство изобилия. Если есть изобилие, то 30% усилий идет на рекламу. Если ты не умеешь рекламировать, жалобу можешь писать только на себя, покупать все равно не будут. Под рекламой в науке я понимаю способность так изложить собственные мысли, чтобы они мгновенно воспринимались. Не умеешь — ничего «за них» не получишь, и денег на их развитие — тоже.

Сейчас все больше созревает идея того, чтобы перестать печатать научные журналы, ликвидировать рецензирование и запускать свои статьи непосредственно в электронную почту. Дальше — кто захочет, прочтает, даст оценку (рейтинг), а остальные по этому рейтингу будут ориентироваться: читать им или не читать. Я с ужасом подумал, что те, кто не умеет писать статьи, при такой рейтинговой системе могут выпасть из науки необратимо, не оставив даже следа.

Беседа пятая

О БУДУЩЕМ РОССИЙСКОЙ НАУКИ

К. Переехав на Запад, я часто сопоставляю науку в бывшем СССР и США. И сейчас мне представляется, что российская наука уже давно нуждалась в реформировании ничуть не меньше, а может быть, и больше, чем экономическая и политическая структуры страны. Существование огромных институтов-монстров, конечно, обеспечивало многих работой, но и давало немало балласта и позволяло

людям, выдавая обещания, создать нечто важное, добиваться огромных инвестиций. Поэтому, видимо, сокращение числа ученых — болезненный, но необходимый процесс. Гигантомания возникла, по-видимому, из-за того, что опыт создания атомного оружия показал успешность решения важных государственных задач большими коллективами. При этом на протяжении многих лет научные сотрудники вынуждены были блефовать: для Академии наук писались отчеты о том, что институты занимаются фундаментальными проблемами, а для министерства — что прикладными, нужными для техники.

Еще одна особенность нашей науки — оторванность ее от университетского образования (Физтех — исключение), в результате чего студентов, как правило, учат люди, сами о сегодняшней науке имеющие весьма отдаленное представление.

Итак, если все будет развиваться более или менее нормальным образом, в российской науке, как и в остальной жизни, наступят перемены. Сколь они будут болезненны для науки и научных работников, больше всего зависит от того, кто, с какими замыслами и возможностями займется ее реорганизацией. А пока идет стихийный процесс утечки мозгов, связанный не с естественным процессом перестройки науки, а с тем, что на Западе ученым предоставляются лучшие условия для работы и просто жизни. Мне кажется, будущее российской науки во многом определяется тем, какие отношения у нее сложатся с научной эмиграцией. Хорошо, когда руководители российских институтов пытаются сохранять хотя бы формальную связь с работающими за границей бывшими своими сотрудниками. Связь эта может выражаться в разных формах — от совместительства до чисто условного упоминания «постоянного» адреса при публикации статей. Жизнь показывает, что у многих уехавших сохраняется ощущение временности происходящего, надежда на лучшие времена, когда все наладится

в России. Эти настроения поддерживаются тем, что работу на Западе получить все труднее, особенно престижную. Если считать, что российская наука сейчас находится в анабиозе, для будущего ее возрождения роль уехавших ученых чрезвычайно велика — они вернутся на Родину с тем научным багажом, который накопили за эти годы. Но не только в будущем, мне кажется, и сейчас они могли бы сделать что-то для поддержания науки: участие в школах, семинарах, конференциях, проходящих в России, чтение и цитирование русских научных журналов, т.е. могли бы позитивно влиять на российскую научную жизнь. Что ты думаешь по этому поводу?

А. Я не считаю себя вправе обсуждать судьбу науки в России, но, думаю, если в стране все будет хорошо, трудно себе представить, чтобы она оказалась отгороженной от всего остального мира. Тогда и ее наука не будет отделена от мировой, а стало быть, разделит общую «научную» судьбу.

Что касается советской науки, то, конечно, у нас была, хоть и неестественная, но совершенно уникальная по своим возможностям ситуация, которой можно только позавидовать. Примерно 70% науки сверхдержавы находилось в Москве, еще 20% — в Ленинграде, Киеве, но все без исключения интересное в области фундаментальных наук везли показывать в Москву, на семинар П.Л.Капицы или Л.Д.Ландау.

К. И не только по физике и по биологии, например. А иногда даже по гуманитарным наукам.

А. Все участники семинара слышали о результатах в той или иной области из уст высочайших специалистов. И если ты принимался за какую-либо тему, тебе не приходилось начинать с нуля: ты просто брал телефонную трубку и получал от специалиста ссылки, перечень результатов и т.д. Экономилось колоссальное количество усилий и времени для выхода в смежные области. Никакие электронные почты и факсы этого не компенсируют. Кроме того, на Западе дают деньги только на уже зарекомендовавшие себя области.

В СССР, в нашей науке, если Ландау считал область интересной, проблемы с деньгами не возникало.

К. Это взгляд теоретика. На экспериментальные исследования деньги всегда было найти трудно. Отсюда — рабская зависимость фундаментальной науки от ВПК. Даже деньги на наши командировки из УФИ в Москву брались у военных.

А. Ты сказал то же самое, что я, но я — на феноменологическом уровне, а ты — на микроскопическом. Решение принимал в конечном счете Ландау. Он говорил директору УФИ, что тема — интересная, а тот доставал. Это типичная имперская система.

Теперь о цитировании статей в российских журналах. По способности рекламировать свою научную продукцию СССР был — а сейчас Россия остается — на нуле. Цитировать плохо написанные работы можно заставить только по приказу партий или правительства, но тогда пришлось бы отказаться от демократии во всем мире. Кроме того, в библиотеках западных университетов стоят в основном западные журналы. Люди, выступающие на семинарах, прежде всего должны доказать, что они одной крови со слушателями. Список цитируемых работ — демонстрация того, что ты действительно знаешь результаты в этой области. Если цитируешь никому не известную работу и говоришь, что она — фундаментальная, ею поинтересуются только, если ты Лев Ландау или Фил Андерсон. В мире есть 10—50 физиков, к которым прислушиваются, и они не могут и не должны девальвировать свою репутацию. Нас, выходцев из бывшего СССР, по сути, очень мало. Наше влияние несущественно. Мы ничтожно слабый раствор в мировом научном море. Когда я только приехал на Запад (Израиль в научном отношении — вроде 51-го американского штата) и начал заниматься новой для меня областью, Фил Андерсон в одной из работ дал четыре ссылки — все четыре на мои препринты! Это, безусловно, была очень важная для меня реклама:

«Внимание! Стоит прочесть!»

Но есть еще один важный момент — в научном мире происходит абсорбция определенных работ. В то время, когда на Западе еще было очень мало российских ученых, на конференциях, где я бывал, несколько имен склонялись непрерывно. Одно из наиболее часто упоминавшихся имен — А.Ларкин. Его результаты считались классическими, их знали, ставили эксперименты для их проверки, цитировали непрерывно. Хорошо знали работы Б.Альтшуллера (еще до его отъезда в США). Один крупный экспериментатор сказал мне как-то: «Я не хочу ехать в Россию, но поеду, чтобы самому поговорить с Альтшуллером. Мне интересно, что он думает по поводу таких-то экспериментов». А ведь их никто не рекламировал. «Настоящую» работу, как правило, заметят и процитируют. Слабую — лучше (для нее самой) не цитировать. Нельзя цитировать по принципу «страны исхода».

К. Я говорю немного не о том. Иногда создается впечатление, что уехавшие российские ученые, встретившись с таким способом рекламы, нарочито отгораживают себя от российской науки — из карьерных соображений, быть может, потому что так легче... Почему так происходит — непонятно, отсутствие традиций, что ли. Ты упоминал «ничтожно слабый раствор». Иногда и небольшое количество людей играет важную роль — за каждым успешно работающим ученым на Западе могла бы потянуться веточка, если у него есть корни. Даже несколько таких деревцев было бы достаточно для поддержания «непрерывности линии жизни» науки. Возможно, это маниловские мечты, боюсь, этот призыв — поддержать российскую науку — и не поможет (на исторический процесс влиять трудно), но уж точно не принесет вреда...

А. Я не очень понимаю проблему. Наши выпускники проводят постдокторат в Америке, часто ездят туда, публикуются в американских журналах, цитируют американские работы, оставаясь при этом израильски-

ми патриотами, им глубоко не безразлично, что происходит в их стране, куда они возвращаются после постдоктората. Искусственно этого добиться нельзя, и тогда остается обсуждать, почему же этого нет. Пойдет ли подобный процесс в России — не мне судить, но только в нем — надежда.

Беседа шестая

ЕХАТЬ — НЕ ЕХАТЬ

К. Мы говорили о перепроизводстве физиков в развитых странах. Но есть ряд богатеющих стран, которые по инерции называются развивающимися — Южная Корея, Аргентина, Бразилия, ЮАР. В них наука бурно развивается, требуется много преподавателей. Не перебираться ли туда?

А. Кому? По-моему, те, кто туда собирается ехать, проявляют верх легкомыслия. Почему? Во-первых, идея о том, что богатые — самые щедрые, противоречит всему моему жизненному опыту. В замке Рокфеллера под Нью-Йорком установлены телефоны-автоматы, чтобы посетители звонили за свои 25 центов. Богатыми люди и страны становятся, если берегут деньги. Мест в университетах там мало, а наука не зарождается на пустом месте. Если бы они взяли всех украинских ученых, ты был бы прав. Но если возьмут только двух человек, то они окажутся в абсолютно чужой культурной среде, на своего рода необитаемом (для их культуры) острове. Очень похоже на домашний арест. Предложи мне выбор: расстрел или жизнь в Турции или в Новой Зеландии, я бы подумал. Но только под дулом пистолета. Я поехал на sabbatical именно в Гарвард, хотя есть и другие американские, французские, английские университеты, отчасти потому, что здесь есть русская община. Мы в России не имели опыта жизни за границей, особенно продолжительной жизни. Все это безумно сложно, особенно в не самом молодом возрасте. Я считаю, что если ты не Эйнштейн, ехать в развивающиеся страны — значит ехать за депрессией и научной импотенцией.

К. И что, эти страны, если не возьмут иностранных преподавателей, останутся без системы образования?

А. Нет, выкарабкаются самостоятельно. Люди всегда подражают старшим братьям. Если в Японии не хотят приезжающих ученых, почему их захотят в Южной Корее? Сегодня ученых не хочет никто. Путь **индивидуально-го** спасения — ненадежный.

К. Ты любишь примеры, приведу тебе один. Много лет назад в Институт физпроблем пришел человек, говорил он с легким акцентом, расспрашивал про одесских физиков. Оказалось, он — немецкий еврей, окончил одесский университет (видимо, коммунист), был выдан Германии, бежал оттуда через Португалию и осел в Аргентине. Живет в Патагонии, в горах, в университетском городке. Я посмотрел на него с ужасом (такая тмугаракань) и спросил: «Вам, должно быть, там очень скучно?» Он ответил: «*“Phys. Rev.”* у нас в библиотеке есть, до США четыре часа, я летаю на все интересные конференции. Живу замечательно, катаюсь на лыжах круглый год!» А ведь это было еще до создания электронной почты.

А. Так он говорит. Говорите то же. Впрочем, всегда находятся люди, довольные любыми условиями. Я слишком наглядно вижу, что происходит в Израиле, куда переехало из бывшего СССР только за последние 5 лет около полумиллиона человек. Более плавного перехода нельзя себе представить: все похоже, включая культуру, у каждого много знакомых, есть русскоязычная община, десятки русскоязычных изданий. И тем не менее в 99% случаев люди переживают шок.

Для бывших советских ученых, которые так торопятся в разные экзотические страны, — русских, евреев, украинцев, — Израиль, мне кажется, — именно та страна, которая может **помочь** возродить науку в России. В Израиле наука — священная корова, которую убивать нельзя. Известно, что тот, кто командует, тот и правит. В Израиле Президент почти всегда — профессор. Израиль — небольшая стра-

на, но во времена Н.Бора маленькая Дания была научной сверхдержавой № 1. Никогда в Америке или Франции ученые не будут иметь такого престижа, как в Израиле.

К. Ты думаешь, Израиль мог бы сейчас стать Данией времен Бора?

А. Да, хотя насчет приезда российских ученых — это маниловщина, потому что не поедут. Но в России есть люди, которым не безразлична судьба науки в своей стране, они понимают, что без серьезных контактов с эмиграцией ничего не получится. Да и в России сейчас можно получить деньги под хорошие совместные идеи, привлечь туда иностранных ученых. Я знаю, кто и как распределяет деньги в фонде Сороса, например. Уверен, под хорошую идею деньги дадут.

Прочитав уже готовый текст, мне захотелось добавить несколько абзацев. Так сказать, от себя лично.

Во время разговора с М.Я. я все время ощущал дивергенцию наших интересов. Меня больше волнует судьба российской науки, а Марка — мировой. Это неудивительно: Азбель уехал из России более 17 лет назад, а я — менее двух лет. Но вот что характерно. У него, несомненно, есть ностальгия по научной юности. Его слова о том, что решение о выделении денег «принимал в конечном счете Ландау», или «все без исключения интересных в области фундаментальных наук везли показывать в Москву, на семинар П.Л.Капицы или Л.Д.Ландау», конечно, обусловлены ностальгией: память запечатлевает то, что приятно вспоминать... Наверное, нет необходимости в этой публикации вспоминать, как приходилось изворачиваться, скажем, руководителям теоретических отделов академических институтов, чтобы фундаментальная наука, в этих отделах творимая, оплачивалась Минсредмашом. Но стоит упомянуть вот что. Когда Марк Азбель после долгих мытарств был взят в УФТИ и в первый раз получил зарплату, он удивленно и радостно

воскликнул: «За это еще и деньги платят!» — подразумевая занятия теоретической физикой. Память о юношеском восторге, как видно из его слов, он пронес через многие годы...

В нашем разговоре несколько раз упоминалось только недавно вошедшее в российский обиход слово «лобби». Обществу необходимо объяснять роль фундаментальной науки в развитии цивилизации, его надо научить сравнивать затраты, скажем, на военно-дипломатический и научный престиж страны. И делать это необходимо профессионально, последовательно, постоянно. Все это подразумевалось во время беседы. Хочу добавить: в процессе ликвидации научной безграмотности общества большое значение могут иметь научно-популярная литература, телевизионные передачи и кинофильмы. Конечно, легко возразить: безграмотное в научном отношении общество не будет читать научно-популярные книги, смотреть передачи, фильмы... Следовательно, их не будут печатать, а телевизионные передачи и фильмы — создавать. Вроде замкнутый круг. Но если бы это было просто, не было бы необходимости в научном лобби...

Несколько слов, имеющих прямое отношение к пятой беседе. Марк говорит с таким убеждением, что ему трудно возражать. Конечно, его пост-российский опыт гораздо богаче, чем мой. И все же рискну не согласиться с его словами.

Прежде всего, именно из-за того, что ученых, уехавших из бывшего СССР на Запад, в конечном счете мало (по сравнению с общим числом ученых на Западе), роль каждого не мала. Когда на летнюю школу по теоретической физике в Черноголовку съезжаются бывшие сотрудники ИТФ им.Л.Д.Ландау, — это событие общероссийского значения.

Привлечение способных студентов в аспирантуру к бывшим российским ученым, конечно, приведет к дополнительным потерям, многие останутся на Западе, но многие и

вернутся или будут поддерживать связь с российской наукой, если их учителя подадут им пример. А сделать это они смогут только в том случае, если сохранят память о том, откуда они и где выучились, где стали тем, кем стали, за что их приняли в западный научный мир. Это, казалось бы, тривиально, но как редко мы видим такие примеры!

Марк объяснял, какая ситуация с цитированием российских авторов. На это нечего возразить. Но я призываю: не забывайте тех своих коллег по российской науке, которых можно (а иногда, простите, надо!) процитировать. Заметят ли вашу ссылку или нет, сказать трудно. Конечно, это зависит от вашего «веса». Поэтому особенно важно, чтобы те, кто входит в число тех «10—50 физиков, к которым прислушиваются», об этом помнили. Не думайте, что это неважно. Очень важно!

И, наконец, последнее. Ехать? Не ехать? Куда ехать? Это очень личные вопросы. На них не существует стереотипных ответов. Я знаю примеры: несколько физиков-теоретиков нашли себе применение в Турции, Бразилии и даже на Тайване. Там нет русских общин, но они чувствуют себя хорошо, принимают участие в мировой научной жизни... Не думаю, что Израиль — единственная страна, где можно работать ученым из России, Украины и т.д. В демократической стране каждый должен иметь право и возможность уезжать и возвращаться. Это — азбучная истина. Где и как жить, решает для себя каждый. Существует только «путь индивидуального спасения». Правда, такое горькое слово («спасение») я бы не употребил. Ведь противоположное ему по смыслу слово — «смерть»...

И наши беседы, — и мое послесловие к ним — размышления. Если они заставят задуматься других, то моя цель (и, думаю, Марка Азбеля) достигнута...

Космические
исследования

Запуски космических аппаратов в Российской Федерации: сентябрь—декабрь 1995 г.

В сентябре—декабре 1995 г. космическими службами РФ с космодромов «Плесецк» и «Байконур» запущено 15 космических аппаратов, в том числе семь спутников серии «Космос».

«Космос-2323, -2324, -2325» предназначены для отработки элементов и аппаратуры глобальной космической навигационной системы «Глонасс», создаваемой с целью обеспечить возможность определения местонахождения самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов. Остальные спутники серии «Космос» запущены в интересах Министерства обороны РФ.

Транспортный космический корабль «Союз ТМ-22» доставил на орбитальный научно-исследовательский комплекс «Мир» международный экипаж 20-й длительной экспедиции в составе: командир экипажа Ю.П.Гидзенко; бортинженер летчик-космонавт РФ С.В.Авдеев и космонавт-исследователь гражданин ФРГ Т.Райтер (космонавт Европейского космического агентства). Этот экипаж сменил на борту комплекса «Мир» членов 19-й длительной экспедиции — космонавтов А.Я.Соловьева и Н.М.Бударина, которые в

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Союз ТМ-22»	3.IX	199	236	51,6	88,5
«Ресурс-Ф»	26.IX	194	276	82,3	88,8
«Космос-2320»	29.IX	189	308	64,9	82,2
«Космос-2321»	6.X	261	821	83	95
«Прогресс М-29»	8.X	194	242	51,6	88,6
«Луч-1»	11.X	35888	35888	2,9	1440
«Космос-2322»	31.X	852	878	71	102
«Галс»	17.XI	36186	36186	0	1442
«Космос-2323»	14.XII	19130	19130	64,5	676
«Космос-2324»					
«Космос-2325»					
«Прогресс М-30»	18.XII	190	236	51,6	88,5
«Космос-2326»	20.XII	415	435	65	92,7
«IRS-1C» (Индия)	28.XII	808	843	98,6	101,2
«Skipper» (США)					

* Спутники «Космос-2323—2325» запущены одной ракетой-носителем «Протон».

** Оба спутника запущены одной ракетой-носителем.

составе американо-российского экипажа стартовали 27 июня 1995 г. на корабле многоцелевого использования «Атлантис», состыковавшегося с комплексом «Мир»: с 29 июня они приступили к работе на орбитальном комплексе, а после завершения 19-й экспедиции 11 сентября 1995 г. вернулись на Землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз ТМ-21». Продолжительность космического полета А.Я.Соловьева и Н.М.Бударина составила 75 сут 11 час 20 мин.

Очередные автоматические транспортные корабли «Прогресс М-29» и «Прогресс М-30» доставили на

орбитальный комплекс «Мир» топливо для объединенной двигательной установки станции, воду и другие расходуемые материалы, аппаратуру, оборудование и почту.

На борту спутника «Ресурс-Ф» установлена аппаратура для проведения разномасштабной многозональной и спектральной фотосъемки с целью изучения природных ресурсов Земли и решения экологических задач в интересах различных отраслей народного хозяйства, науки, международного сотрудничества.

Спутник «Луч-1» оборудован аппаратурой для обеспечения связи с орбитальным комплексом «Мир»,

установления связи при чрезвычайных обстоятельствах и для передачи ТВ-программ и телеинформации в интересах народного хозяйства страны и МО РФ. Очередной спутник связи «Галс», также выведенный на близкую к стационарной орбиту, предназначен для ретрансляции в метровом диапазоне волн ТВ-программ на малогабаритные приемные установки профессионального и индивидуального пользования.

Индийский спутник «IRS-1C» несет научную аппаратуру для изучения природных ресурсов Индии, а на американском спутнике «Skipper» размещена научная аппаратура для проведения экспериментов по регистрации ультрафиолетового и видимого излучений на различных высотах при вхождении спутника в атмосферу Земли. Спутники запущены на солнечно-синхронную орбиту.

Перечисленные спутники были запущены с помощью ракет-носителей «Космос», «Союз», «Циклон-2», «Молния», «Зенит», «Протон».

Таким образом, в 1995 г. космическими службами РФ всего было запущено 43 космических аппарата (для сравнения: в 1994 г. запущено 64 космических аппарата), в том числе два пилотируемых космических корабля «Союз ТМ», пять автоматических грузовых корабля «Прогресс М», 21 спутник серии «Космос», три спутника связи «Молния-3», «Луч-1», «Галс», научно-исследовательский модуль «Спектр», четыре научных спутника, навигационный спутник «Цикада», а также шесть спутников США, Чили, Швеции, Индии и Украины. Для запуска 43 космических аппаратов

были использованы 32 ракеты-носителя.

© С.А.Никутин
Москва

Космические исследования

Высадка на комету

Космические ведомства США, Франции и Германии подписали соглашение о совместном проведении Программы «Horizon-2000». Важной ее частью будет миссия «Rosetta»¹, предусматривающая в 2012 г. посадку на комете Виртанена двух спускаемых исследовательских аппаратов.

Предполагается европейской ракетой «Ariane-5» запустить в январе 2003 г. орбитальный отсек, который вплотную сблизится с этим небесным телом в августе 2011 г.; до июля 2013 г. приборы на его борту будут производить детальную съемку ядра кометы. В конце 2012 г. от орбитального отсека отделятся два посадочных: американско-французский «Champollion» и немецкий «RoLand».

Первый из них предназначен для сбора данных об окружающей его на комете среде в течение лишь 84 час, а второй, вероятно, — целого года. Приборы для этих исследований разрабатываются международными коллективами ученых. Это будет первый случай изучения кометы, так сказать, «in situ».

Spaceflight. 1995. V.37. № 10. P.341 (Великобритания).

¹ Название этой программы напоминает о Розеттском камне, иероглифический текст которого был расшифрован французским ученым, основателем египтологии Ж.Ф.Шампольоном (1790—1832).

Астрофизика

Как уловить высокоэнергетические космические частицы?

Космические лучи высоких энергий ($>10^{16}$ эВ) — явление довольно редкое. Тем не менее на каждый квадратный километр земной поверхности вызванный ими «ливень» обрушивается в среднем раз в столетие. Об их источниках астрофизики пока могут лишь догадываться. Поэтому с одобрением было встречено предложение Дж.Кронина (J.Cronin; Чикагский университет, штат Иллинойс, США), выдвинутое им на международной конференции в Чикаго в мае 1995 г.

Он предложил осуществить международный проект по изучению космических лучей, присвоив ему имя Пьера Оже (P.Auger) — французского физика, который в 1938 г. первым наблюдал вторжение в земную атмосферу ливня высокоэнергетических частиц.

Участовавшие в конференции представители 22 стран приняли предложение о создании в Северном полушарии гигантской сети детекторов космических лучей общей площадью более 5 тыс. км². На каждом из отдельных полигонов должно располагаться, образуя в плане шестиугольник, по 3 тыс. детекторов, работающих на солнечных источниках энергии. Точное местонахождение станций будет определено позже, но пока в кандидатах значатся территории Испании, Казахстана и юго-западного района США. Затем аналогичную сеть следует создать и в Южном полушарии.

Существующие ныне станции космических лучей,

как правило, предназначены для регистрации лишь частиц низких энергий. Детекторы будут фиксировать не сами высокоэнергетические частицы, а каскады вторичных частиц, образуемые молекулами газа в верхней атмосфере. Датчиками служат фотоумножители, регистрирующие мгновенные слабые вспышки, вызываемые космической частицей при ее взаимодействии с атмосферой.

Компьютерная система, сводя данные наблюдений воедино, позволяет вычислить траекторию частицы и проследить ее источник с точностью до 1° .

Не исключено, что подобные источники являются «темными», т.е. в видимой части спектра они не излучают. В таком случае астрономия может получить от астрофизики множество новых неизвестных ей небесных объектов.

Стоимость всего проекта им. Пьера Оже оценивается в 80 млн. долл.

New Scientist. 1995. V. 146. № 1977. P.8 (Великобритания).

Астрономия

Комета Хиакутаке

Рано утром 31 января 1996 г. японский любитель астрономии Ю.Хиакутаке открыл на границе созвездий Гидры и Весов очень интересную комету, которая в конце марта должна стать самым популярным астрономическим объектом¹. Для первооткрывателя это событие замечательно тем, что чуть раньше, 26 декабря 1995 г., и всего лишь в трех градусах от места

нынешней своей находки Хиакутаке тоже обнаружил новую комету. Впрочем, такой урожайности на открития можно не удивляться: хотя Хиакутаке по профессии полиграфист, он очень опытный и известный наблюдатель неба, а для поиска комет пользуется мощным биноклем с увеличением в 25 раз и диаметром объективов 150 мм. Немалую роль играет и то, что Хиакутаке живет в южной провинции Японии Кагосима, откуда видны многие созвездия, недоступные европейским и даже американским астрономам.

Последний трофей японского охотника за кометами получил обозначение C/1996 B2 (Hyakutake). Эта комета движется почти по параболической орбите и в момент обнаружения находилась за Марсом на расстоянии 280 млн. км от Земли. Однако она быстро приближается и 25 марта 1996 г. должна пройти всего в 15 млн. км от нас. В этот день ее легко будет наблюдать в Северном полушарии: с угловой скоростью $3/4$ градуса в час она будет передвигаться на фоне созвездия Дракона в направлении Полярной звезды. Ожидается, что в эти дни комета будет иметь не меньшую яркость, чем звезды ковша Большой Медведицы. За период с 1983 г. это самый близкий пролет кометы от Земли.

1 мая комета Хиакутаке пройдет ближайшую к Солнцу точку орбиты (перигелий) на расстоянии всего 35 млн. км от светила, т.е. глубоко внутри орбиты Меркурия. В это время комета уже будет видна далеко на южном небе и станет недоступна для наблюдателей наших широт.

Особый интерес к ко-

мете связан с ее орбитой: она прибыла к нам из невероятной дали, скорее всего из «облака Оорта», окружающего на расстоянии тысячи миллиардов километров Солнечную систему и состоящего из многих миллиардов комет. Большинство из них никогда не приближалось к Солнцу и в неприкосновенности сохранило в своих ядрах первичное вещество, из которого формировались планеты и само светило. Поэтому с таким вниманием астрономы изучают спектры кометы Хиакутаке, в которых уже видны линии простейших молекул: CN, OH, C₂ и C₃.

Судя по предварительным расчетам, размер твердого ядра кометы Хиакутаке около 10 км (как у кометы Галлея). Но даже на ближайшем расстоянии от Земли его угловой размер будет не более 0.15 угл. сек, что недоступно для разрешения наземным телескопам. Только с помощью Космического телескопа им. Хаббла есть надежда рассмотреть структуру ядра, если его вообще можно будет рассмотреть сквозь плотный слой газа, испаряющегося с поверхности.

© В.Г.Сурдин,
кандидат физико-математических наук
Москва

Астрономия

Начинается новый солнечный цикл?

Средняя продолжительность цикла солнечной активности, как известно, составляет около 11 лет. К настоящему времени истекло уже девять лет текущего цикла, так что, по расчетам астрофизиков и астрономов, он должен был длиться еще

¹ ESO Press Release 06/96, 16 Febr. 1996.

около 24 мес. Однако 12 августа 1995 г., согласно сообщению директора Солнечной обсерватории Биг-Бэр при Калифорнийском технологическом институте, США, Х.Зирина (H. Zirin), на диске светила отмечено первое пятно нового цикла.

Магнитная полярность данного пятна имеет обратную направленность по сравнению со всеми пятнами последних лет, что и подтверждает его принадлежность новому циклу.

Если новый цикл, действительно, наступит на два года раньше положенного, то максимум солнечной активности будет наблюдаться не в 2001 г., как прогнозировалось, а около 1999.

В периоды максимального развития солнечных пятен изменяется структура магнитного поля Солнца и возникают яркие вспышки. Вспышки, в свою очередь, могут порождать полярные сияния и магнитные бури на Земле, вызывающие помехи радиосвязи и т.п.

New Scientist. 1995. V.147. № 1993. P.11 (Великобритания).

Физика

Сонолюминесценция

Сонолюминесценция (СЛ) — мало изученное на сегодняшний день явление преобразования акустической энергии в световую, которое сопровождается нелинейными пульсациями захваченных пузырьков газа в воде. Остаются пока непонятными такие вопросы, как механизм излучения света, массообмен между пузырьками и газом, растворенным в жидкости, малая продолжительность вспышек и их резкое выключение и др. Кроме того, неясно, почему

именно вода является благоприятной средой для сонолюминесценции. Ключевую роль в возникновении этого явления, по-видимому, играют акустические свойства используемой жидкости и пузырьков газа.

Р.Хиллер и С.Паттерман (R.Hieller, S.Putterman; Калифорнийский университет, США) наблюдали сонолюминесценцию пузырьков H_2 , D_2 , 3He , 4He под воздействием звуковых волн в обычной (H_2O) и тяжелой (D_2O) воде. Эксперименты проводились при температуре, близкой к комнатной, а также к точке замерзания ($3.8^\circ C$ — для D_2O).

Замена обычной воды на тяжелую вызывает резкое смещение СЛ-спектра из области ультрафиолета в сторону длинных волн. Столь существенный сдвиг не имеет в настоящее время объяснения, тем более что физико-химические свойства обычной и тяжелой воды различаются не столь сильно.

Physical Review Letters. 1995. V.75. P.3549 (США).

Физика

Вынужденное флюоресцентное охлаждение твердого тела

Возможность охлаждения твердого тела при взаимодействии его с излучением была предложена еще в 1929 г. Прингшеймом. Затем Ландау установил основные термодинамические соотношения для такого процесса. В частности, лазерное доплеровское охлаждение газообразных атомов и ионов выросло в отдельную область исследования. Напротив, попытки охладить светом твердые тела не

достигали успеха, так как безызлучательные процессы нагрева преобладали и флюоресцентное охлаждение имело лучшим результатом лишь уменьшение скорости нагрева.

Р.Эпштейн с коллегами (R.I.Epstein et al.; Лос-Аламосская национальная лаборатория, США) впервые достигли охлаждения твердого тела излучением; эффект охлаждения (до 2 %) более чем в 10 тыс. раз превосходит наблюдавшийся в экспериментах по доплеровскому охлаждению газов.

В работе использовались флюоресцирующие стекла, насыщенные трехвалентными ионами иттербия. Ион Yb^{3+} обладает только двумя группами энергетических уровней, расположенными ниже ультрафиолетовой границы спектра поглощения стекла. Эти группы разделены энергией 1.3 эВ, соответствующей длине волны ~ 1000 нм. Группа основного состояния имеет четыре уровня, а группа возбужденного — три. Накачка стекла фотонами из длинноволновой области спектра поглощения переводит электроны с верхних уровней основного состояния на нижние уровни возбужденного. Таким образом, относительная заселенность уровней внутри каждой группы слегка смещается от равновесного термодинамического распределения и в итоге в обеих группах количество занятых нижних уровней оказывается большим, чем при термодинамическом равновесии. Это равновесие восстанавливается при поглощении тепла от среды (стекла), вызывая понижение температуры образца.

Nature. 1995. V.377. № 6549. P.500—502 (Великобритания).

Биология

Ледниковый период способствовал биологическому разнообразию

Чрезвычайное многообразие видов животных и растений во влажных тропических лесах специалисты считают следствием климатических изменений: в холодные и засушливые периоды их площадь сокращалась и дробилась на отдельные участки, а изолированные ареалы (например, острова, как показал еще Дарвин) как раз и отличаются наиболее активным образованием новых видов.

Австралийские исследователи К.Мориц, Л.Джозеф и Э.Хагол (C.Moritz, L.Joseph, A.Hugall; Университет штата Квинсленд) нашли генетическое подтверждение этой гипотезы. Они изучили ДНК кровяных телец нескольких видов птиц и кожи одного из видов ящериц (колючего сцинка *Gnypetoscincus gueneislandiae*), встречающихся в двух разных зонах тропического леса. Оба участка расположены в штате Квинсленд: один — на нагорье Атертон-Тейблленд, в 50 км от г.Кэрнса, другой — в районе г.Дейнтри, в 150 км к северу. Сейчас они соединены между собой, но в периоды глобального похолодания (последнее из которых происходило 18 тыс. лет назад) их разделяла засушливая область горного хребта Блэк.

Оказалось, что будучи изолированы друг от друга в течение последнего оледенения, популяции одних и тех же видов постепенно приобрели генетические различия, и ныне процесс дивергенции (образование двух различных видов из

одного исходного) продолжается.

Исследование гена, кодирующего цитохром b, показало, что у популяций сероголовой малиновки (*Poecilodryas albispecularis*) расхождения наблюдались в 1.4% пар оснований ДНК, у птиц чоучиллы (*Orthonyx spaldingii*) — в 2.5%, а у сцинка — в 6% пар. Принято считать виды вполне самостоятельными, если число несовпадающих пар оснований их ДНК достигает 10%.

Авторы предположили, что процесс дивергенции у птиц начался всего миллион лет назад, а у ящериц — намного раньше, около 5 млн. лет назад, вероятно из-за меньшей мобильности, чем у пернатых.

Proceedings of the Royal Society. Series B. 1995. V.260. P.177; New Scientist. 1995. V.146. № 1981. P.17 (Великобритания).

Зоология

Липкость паутины у пауков разная

Давно известно, что липкость ловчей паутины определяется у пауков двумя факторами. «Нормальная» паутина большинства форм снабжена специальными клейкими капельками — остатками выделений особых паутинных желез. А у некоторых пауков, которых называют крибеллятными, одна пара паутинных бородавок превратилась в ситечко — крибеллюм, который выпускает настолько тонкие нити, что в них добыча запутывается без всякого приклеивания. В обоих случаях нить формируется трубкой, через которую паутинная железа выделяет твердеющий на воздухе секрет.

Исследователь Б.Д.Опелл из Университета штата Вирджиния, США¹ изучил изменения деятельности желез крибеллюма в ходе развития у пауков семейства Uloboridae. Для примера он взял два вида, различающихся по типу ловчей паутины. *Hypitiotes cavatus* строит правильную треугольную сеть, а *Miagrammopes animotus* выделяет лишь несколько нитей, образующих подобие неправильной сети.

Удалось показать, что увеличение числа паутинных трубочек на крибеллюме коррелирует у обоих видов с увеличением липкости паутины. Действительно, чем больше мелких волокон находится в поперечных утолщениях-пуфах крибеллянтной ловчей нити, тем больше вероятность попадания добычи.

Более того, выяснилось, что нити миаграммопеса вообще более липкие, чем улоборуса. Логически это понятно — самих нитей в сети меньше, значит, надо, чтобы каждая из них лучше работала. Как достигается более высокая эффективность? Оказалось, что от числа трубочек это не зависит. Дело в строении самой нити. По сравнению с улоборусом, ее пуфы более короткие и широкие, площадь их контакта со средой больше, и таким образом увеличивается вероятность попадания добычи!

Итак, крибеллянтные пауки контролируют липкость своей паутины разными способами — и мощностью паутинного аппарата, и способом укладки паутинной нити. Остается невыясненным, как обстоит

¹ Opell B.D. // J. of Morphology. 1995. V.224. № 1. P.47—56.

дело у большинства других пауков-тенетников, строящих сети с настоящим клейким веществом.

© К.Г.Михайлов,
кандидат биологических
наук
Москва

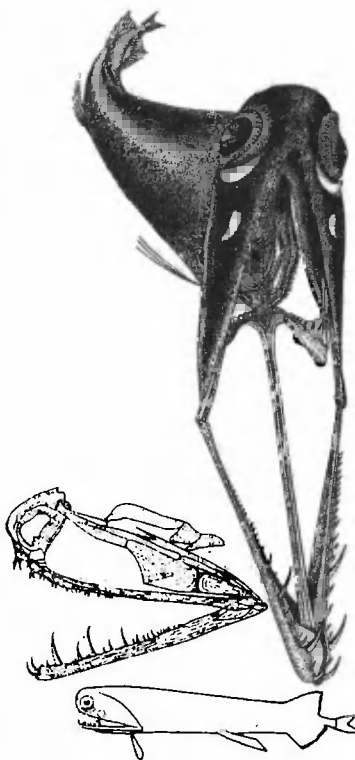
Физиология

Красный фонарик глубоководной рыбы

Красные лучи почти нацело поглощаются уже в первых метрах морской толщи, так что на такой глубине кровь кажется зеленой. Многие полуглубоководные рыбы, например морские окуни, красного цвета, и в своей среде обитания они почти невидимы. На глубинах в несколько сот метров преобладают лучи зеленовато-синей части спектра — именно так светят фотофоры (светящиеся органы) великого множества рыб, креветок, кальмаров и других обитателей мезопелагиали (толща воды на глубине от 150—200 до 700—800 м). Максимум их свечения — на волнах 470—490 нм, и таков же максимум чувствительности их зрительных пигментов. Рыбы верхних слоев и прибрежных вод хорошо воспринимают красный свет, а большинство глубоководных его практически не видят.

Но среди глубоководных рыб есть немногочисленные виды, которые, наряду с обычными фотофорами, испускающими зеленовато-синий свет, имеют и органы, излучающие интенсивно-красный свет с длиной волны около 700 нм. Таковы рыбы небольшого (полтора десятка видов) семейства малакостеевых (Malacosteidae), которых за зубастость называют «рыба-ми-драконами».

Малакостеевые — рыбки



Malacosteus niger. Вверху — рыба с раскрытой пастью, в середине — череп; внизу — общий вид сбоку. Показаны подглазничные и заглазничные фотофоры; первый (полукруглой формы) излучает красный свет, второй — зеленовато-синий свет. Из: *Urania-Tierreich. Fische* — Lurche — Kriechtiere. Leipzig, 1967; J.S.Nelson. *Fishes of the World*. New York, 1976.

(обычно не крупнее 15 см) максимум до 0.5 м. Живут в толще воды на глубине нескольких сот или тысяч метров. У них удлинённое черное тело без чешуи, с многочисленными мелкими фотофорами под глазами, за глазами и по брюху. Челюсти необыкновенно длинные (иногда до 30% тела) и усажены множеством острых зубов; на нижней — несколько очень больших «клыков». Правая и

левая половины нижней челюсти не соединены перепонкой, так что рот не имеет дна. Передние позвонки не окостеневают (malacosteus по-гречески — мягкокость), и голова может двигаться вверх и вниз. Все это приспособлено для захвата крупной добычи. Большие фотофоры за глазами и мелкие на брюхе излучают обычный зеленовато-синий свет, а вот подглазничные — интенсивно-красный. Зачем им это?

Дж.Партридж из Бристольского университета (Англия) и Р.Дуглас из Городского университета Лондона проанализировали светочувствительность зрительных пигментов трех видов рода *Aristostomias*, пойманных в тропической северной Атлантике¹. У них обнаружено два светочувствительных пигмента — родопсин и порфиросин (с максимумом чувствительности на волнах 523—551 нм), способных, как у большинства рыб, видеть красный свет, но кроме того — еще особый длинноволновый родопсин (с максимальной чувствительностью на волне 581 нм). Возможно, есть и длинноволновый вариант порфиросина, воспринимающий еще более далекий красный свет (658 нм). Таким образом, эти рыбы могут видеть красный свет как своих собратьев, так и собственный, отраженный от какого-нибудь предмета, например от чешуи рыбы-жертвы.

Взяв за основу данные о свечении исследованного ранее самца крупного и глубоководного вида этого семейства (*Malacosteus niger*), авторы рассчитали, что светимость (количество ис-

¹ Partridge J.C., Douglas R.H. // *Nature*. 1995. V. 375. № 6526. P.21—22.

пускаемых в секунду фотонов) красного подглазничного фотофора на порядок ниже зеленовато-синего заглазничного. В чрезвычайно прозрачных глубинных океанских водах свечение своего зеленовато-синего фотофора *Aristostomias* может видеть на расстоянии до 37 м, а красного — только до 2 м. Свет зеленовато-синего фотофора, отраженный от зеркальной чешуи добычи, *Aristostomias* может заметить с расстояния более 7 м, а красного — с 1.3 м. Но светящиеся анчоусы (*Myctophidae*) — излюбленная добыча взрослых малакостеевых рыб — почти не видят красного света. Если зеленовато-синий они способны заметить с дистанции 36 м (как и сами малакостеевые), то красный — лишь с расстояния менее 1 см. Дистанция, с которой *Aristostomias* видит добычу в отраженном свете, приблизительно в 10 раз превосходит ту, с которой он, воспринимая ее движения органами боковой линии.

Таким образом, эти мелкие зубастые обитатели океанских глубин способны не только опознавать друг друга по «фонарикам», невидимым для более крупных хищников, но и освещать добычу так, чтобы самим оставаться незамеченным ей.

© К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Этология

Куда плывет крошка хариус?

Молодь большинства видов пресноводных рыб покидает нерестилища, где появилась на свет, и личинки мигрируют на места откорма. Поведение личинок разных видов имеет свои особенности.

И.К.Попова, Д.С.Павлов и Б.П.Легкий (Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, Москва) изучали поведение и механизмы расселения личинок хариуса на р.Большая Коша, притоке Верхней Волги. Скорость течения реки достигает 1 м/с, при этом вода достаточно прозрачна для наблюдений.

Оказалось, что нерест хариуса начинается весной, когда распускаются листья у черемухи и зацветает первоцвет, при среднесуточной температуре воды 4–8°C. Новорожденные личинки имеют отрицательную реакцию на свет и быстро закапываются в грунт.

Через определенное время фотореакция меняется с отрицательной на положительную, личинки выходят из грунта и река уносит их вниз по течению. Это происходит почти всегда в светлое время суток. Такой этап в жизни молоди получил название «дневной скат». Свободно плавающие личинки появляются в реке с началом цветения черемухи и первыми цветами одуванчика. Вскоре рыбки выходят из потока и начинают скапливаться вблизи берегов, где течение замедленное, а ночью опускаются на дно.

Еще через какое-то время реакция личинок на свет опять меняется на отрицательную и начинается период «ночного ската». Число ночных странников невелико; личинки практически прекращают расселяться потоком воды, а собираются у берегов и постепенно, по мере роста, перемещаются ко дну, в среднюю часть реки.

Таким образом, поведенческие реакции в ходе взросления молоди хариуса полярно меняются и имеют обязательный характер, при

этом уровень индивидуальной изменчивости поведения невысок. Такой порядок смены стереотипов поведения приводит к тому, что молодь быстро выходит из под влияния течения.

Доклады Академии наук. 1995. Т.340. № 3. С.440–443 (Россия).

Биохимия. Медицина

Полынь лечит малярию

Среди 300–500 млн. инфицированных малярией в мире ежегодно умирает около двух миллионов человек. Традиционные медикаментозные средства (в большинстве своем — алкалоиды), которые применяются для лечения малярии, вызываемой *Plasmodium falciparum*, становятся все менее эффективными из-за привыкания к ним возбудителя заболевания и появления устойчивых к лекарствам форм плазмодиев. Вместе с тем, китайские натуропаты давно и успешно используют при лечении малярии экстракт *Artemisia annua* (полынь однолетняя)¹ или его активные компоненты. Механизм действия этих препаратов был не вполне ясен.

Недавние исследования американских биохимиков под руководством Г.Поснера (G.Posner; Университет Дж.Гопкинса, Балтимор) помогли объяснить его. Они обнаружили, что действующим началом китайского лекарства является артемизинин, к которому *P. falciparum* до сих пор не выработал устойчивости. Молекула артемизинина имеет высокоактивную три-

¹ Это растение растет и у нас на юге Сибири. — Прим. ред.

оксановую группу — два связанных между собой атома кислорода, расположенные вблизи третьего. Клетка паразита, накапливая в большом количестве железо из разрушаемых ею эритроцитов крови больного, сама становится мишенью артемизинина. При взаимодействии триоксановой группы артемизинина с двухвалентным железом плазмодия образуется соединение четырехвалентного железа с кислородом $Fe(IV)=O$, а также ряд промежуточных радикалов, обладающих высокой цитотоксической активностью. Появление этих соединений в теле плазмодия и оказывается для него смертельным. К счастью, неповрежденные эритроциты не чувствительны к действию артемизинина, так как железо гемоглобина слабо взаимодействует с триоксановыми соединениями.

Артемизинин довольно трудно получить путем синтеза. Авторы надеются, что изучение механизмов его действия на молекулярном уровне позволит создать искусственные триоксановые соединения, которые можно будет так же эффективно использовать для борьбы с малярией, как и натуральные.

Journal of the American Chemical Society. 1995. V.117. № 21. P.5885—5886 (США).

Медицина

Коралл подсказывает ортопедам новое решение

Лечение переломов часто проводится с использованием различных металлических предметов: пластинок, винтов, спиц и дру-

гих подобных средств. Их применение не обходится без весьма болезненных процедур, риска дальнейшего разрушения обломков костей и опасности инфицирования.

Большая группа американских исследователей, хирургов и технологов во главе с Б.Констанцем (B.Constantz; Корпорация «Norian», Купертино, штат Калифорния) предложила новый метод лечения переломов, суть которого заключается в образовании минеральной составляющей кости непосредственно в месте ее разрушения.

У людей и позвоночных животных кости обретают твердость довольно медленно, их минерализация идет по белковой «канве», постепенно формируя прочную губчатую основу. Другой, безбелковый способ образования скелета существует у кораллов. Идея использовать законы физико-химических реакций для построения кости пришла Констанцу еще в 1985 г. во время его учебы в университете, при изучении роста кораллов. Для ее воплощения была основана корпорация «Norian», где в результате многолетних исследований и был создан материал под названием Norian SRS (skeletal repair system), который в виде пасты вводится прямо в место перелома. Паста готовится путем простого перемешивания сухих фосфатов и карбоната кальция, к их смеси добавляется раствор фосфата натрия. В течение нескольких минут она затвердевает при температуре тела, а через 12 час. уже превосходит по прочности натуральную кость, выдерживая силу сжатия в 55 МПа.

Дифракционный анализ подтвердил большое сход-

ство нового материала с костью. Различия можно увидеть только под электронным микроскопом: волокна Norian SRS располагаются хаотично, а в костях они определенным образом сориентированы. Экспериментальные исследования показали, что через две недели имплантат (затвердевшую пасту) начинают заселять костные клетки (остеоциты и остеоциты) из окружающей ткани и постепенно замещают его.

Новый материал уже апробирован в клиниках Швеции и Нидерландов на большом числе больных с переломами бедра, коленной чашечки, плеча и запястья. Его применение имеет целый ряд преимуществ: паста постепенно рассасывается и замещается нормальной костью; до минимума сокращается или отпадает совсем необходимость в металлических приспособлениях и многих болезненных процедурах; на три-четыре дня сокращаются сроки лечения и значительно раньше, чем обычно, можно начинать физиотерапию. Сейчас препарат проходит клинические испытания в медицинских центрах США.

Science. 1995. V.267. № 5205. P.1772, 1796—1799 (США).

Охрана природы

Спешите! Продается белый носорог

Правительство ЮАР получило разрешение Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП) продавать белых носорогов (*Ceratotherium simum*) при условии, что это не нанесет ущерба выживанию вида. Ныне по-

голове этих животных в Южной Африке превысило 6000, тогда как в начале столетия не достигало и 100 (в других регионах Африки обитает 367 особей, а еще 640 содержится в неволе по всему миру). В связи с этим на последней Конференции по международной торговле животными и растениями, находящимися под угрозой исчезновения, белый носорог был исключен из их числа.

Доход от продажи этих животных поможет правительству ЮАР поддерживать весьма дорогостоящую программу их охраны на должном уровне: содержание носорогов в заповедниках страны ежегодно обходится примерно в тысячу долларов на 1 км² площади.

Торговля разрешена только до 1997 г., когда очередная конференция снова будет рассматривать статус белого носорога.

International Wildlife. 1995. V.25, № 4. P.28 (США).

Биогеохимия.

Охрана окружающей среды

Тяжелые металлы в пыли и спорах

Исследование химического состава спор и пыльцы, а также компонентов эоловой, морской, речной взвеси и донных осадков, содержащих этот материал в значительных количествах, помогает решать задачи в области палинологии, биогеохимии, экологии. В частности, знания о распространении макро- и микрокомпонентов в названных средах необходимы при изучении потоков вещества в океане и атмосфере, для получения наиболее полных представлений о путях и формах миграции химичес-

Среднее содержание токсичных металлов в спорово-пыльцевом материале (хвойные породы) различных регионов

Элемент	Московская обл.	Северный Кавказ
Pb	$8 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$
Pi	$2 \cdot 10^{-8}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$
Hg	$3 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$

Среднее содержание металлов в эоловой взвеси, обогащенной спорово-пыльцевым материалом

Элемент	Пробы, практически не содержащие спор и пыльцы	Пробы, обогащенные частицами спор и пыльцы
Ag	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$
Bi	$3.6 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$
Cd	$4.4 \cdot 10^{-7}$	$1.9 \cdot 10^{-6}$
Pb	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$1.53 \cdot 10^{-4}$
Pi	$6.3 \cdot 10^{-7}$	$2.1 \cdot 10^{-6}$

ких элементов в биосфере, об особенностях их биогеохимических циклов. Существенное значение приобретает спорово-пыльцевой материал и как индикатор загрязнения окружающей среды и концентратор токсичных элементов.

Такие исследования ведутся в Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН и Институте почвоведения и фотосинтеза РАН (Пушино).

Для установления в спорово-пыльцевом материале концентраций тяжелых металлов применяются высокочувствительные атомно-абсорбционный и атомно-флуоресцентный методы анализа с прямой электротермической атомизацией микропроб. Эти методы позволяют определять следы металлов в микропробах на уровне низких и ультраниз-

ких природных концентраций¹.

Растения в весенне-летний период продуцируют огромное количество пыльцы. Например, только за летний сезон «пыльцевой дождь» на акватории некоторых южных морей (Аральское, Азовское, север Каспия) составляет около 12 тыс. т пыльцевых зерен (В.А.Вронский, 1979), а в северных морях (расчеты автора по Берингову морю) — примерно 3650 т. Наши исследования показывают, что в составе спор и пыльцы присутствуют довольно значительные концентрации редких и рассеянных элементов, включая группу тяжелых металлов. В микропробах спорово-пыльцевого материала (взятого в Московской области, на Северном Кавказе и Дальнем Востоке), эоловой, морской и речной взвеси, выделенных из донных осадков экваториальной и юго-восточной части Тихого океана, обнаружены Ag, Bi, Cd, Pb, Hg, Ti, In, Zn, Co, Mn и другие элементы. Содержание металлов в этих пробах изменяется в широком интервале (для Ag, Cd, Hg, Ti — от 10^{-7} до $10^{-4}\%$). Минимальные концентрации металлов установлены в «чистом» материале спор и пыльцы, собранном в весен-

¹ Подробнее см.: Орешкин В.Н. Прямой атомно-абсорбционный метод определения тяжелых металлов в объектах окружающей среды для целей геохимии и контроля загрязнения // Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах. Пушино, 1990. С.60—74; Орешкин В.Н., Сафарова С.А. Определение Ag, Bi, Cd, In, Ti, Pb в микропробах спор и пыльцы и других объектах методами атомной абсорбции и атомной флуоресценции // Стратиграфия отложений и палеоокеанология Мирового океана. М., 1993. С.148—152.

не-летний период, а максимальные — в препаратах из взвеси и осадков (см. таблицы). Видно, что пыльца, выделенная из проб золотой взвеси и донных осадков, обогащена металлами иногда на порядок величины и более по сравнению с «чистым» спорово-пыльцевым материалом.

Таким образом, имеющиеся в нашем распоряжении данные свидетельствуют, что накопление спорово-пыльцевого материала в различных компонентах среды ведет к концентрированию тяжелых металлов в них, особенно в условиях техногенного загрязнения атмосферы и природных вод.

© С.А.Сафарова,
кандидат биологических наук
Москва

Экология

Экосистема из пшеницы и человека

В середине августа 1995 г. успешно завершился эксперимент, во время которого Н.Пакэм (N.Packham; английский химик, научный сотрудник американской аэрокосмической компании «Локхид—Мартин») добровольно провел две недели в герметически закупоренном помещении площадью 9 м². Цель исследований — проверить, способен ли растительность поставлять в замкнутую атмосферу достаточное количество кислорода для дыхания человека, а он, в свою очередь, — диоксид углерода, необходимый для существования этих растений. Эксперимент осуществлялся в Центре космических полетов НАСА им. Джонсона в Хьюстоне (штат Техас). Подобные искусственные экологические сис-

темы, по словам руководителя исследований в области регенеративных систем жизнеобеспечения НАСА Д.Хеннинджера (D.Henninger), будут совершенно необходимы в недалеком будущем при полетах на Марс.

Герметическое помещение состояло из двух связанных между собой отделений, в одном из которых жил Пакэм и был установлен компьютерный терминал, а в другом размещалось 30 тыс. растений пшеницы. Оказалось, что это «поле» выделяет даже больше кислорода, чем необходимо «космонавту». «Продуктивность» же человека была недостаточной, так что для обеспечения растений оптимальным объемом CO₂ приходилось временами закачивать его извне.

Во время физических упражнений организм подопытного, естественно, требовал больше кислорода, поэтому в такие периоды продуктивность растений искусственно увеличивали, повышая уровень их освещенности, что усиливало процесс фотосинтеза и выделение кислорода. На «раскачку» пшеницы для этого требовалось около 10 мин.

В 1996 г. НАСА планирует поместить четырех человек в камеру больших размеров, где воздух и вода будут регенерироваться только с помощью химических веществ: диоксид углерода, содержащийся в воздухе, будет превращаться в метан и воду, а затем ее молекулы с помощью электрического тока будут принуждаться к отдаче кислорода. Этот эксперимент продлится 15 сут. В 1997 г. планируется подобный опыт уже на 3 мес, а к концу десятилетия в помещении большего размера — на целый год.

Один из аспектов нынешних исследований, который важен при длительном космическом полете, состоит в выяснении вопроса, выделяет ли человек или растения газы в столь малых (следовых) количествах, что, растворяясь в атмосфере, они становятся неразличимыми. Если это так, сотрудникам НАСА предстоит разработать методику их устранения.

По своей сложности эти опыты заметно уступают эксперименту «Биосфера-2». Но «Биосфера-2» не может служить моделью для будущего космического полета, так как по своим размерам непригодна для запуска к Марсу.

New Scientist. 1995. V. 147.
№ 1991. P.5 (Великобритания).

Экология

Продуктопровод на шельфе Баренцева моря: воздействие на экосистемы

Для освоения Штокмановского газо-конденсатного месторождения запланировано проведение магистрального продуктопровода на шельфе Баренцева моря. Рассматриваются три варианта прокладки с выемкой и последующей засыпкой траншей для заглубления труб на участках с глубиной меньше 120 м. При этом неизбежно образование взвесей, угнетающих жизнедеятельность морских организмов-фильтраторов, нарушающих поведение и метаболизм у рыб.

Для оценки экологических последствий этого проекта Г.Г.Матишов, И.А.Шпарковский, В.В.Назинов (Мурманский морской биологический институт РАН) изучили вероятное распростране-

ние взвешенного вещества в предполагаемых районах прокладки трубопровода и его влияние на выживаемость водных организмов.

Опытным путем показано, что входящие в состав отложений алеврито-пелитовые частицы размером 0.05–0.01 мм и менее при их концентрации в воде 5–50 мг/л не оказывают заметного влияния на гидробионтов: при экспозиции 15 сут погибли лишь единичные особи. При концентрации 500 мг/л погибло 50%: амфипод — за 8 час, исландского гребешка — за 11 час, молоди лосося — за 12 час, трески — за 24 часа; наибольшая выживаемость в этих условиях была у водоросли ламинарии.

По результатам этих исследований для варианта прокладки трубопровода с выходом магистрали на сушу в районе поселка Терберка (губа Опасова; 100 км к северо-востоку от Мурманска), при объеме извлекаемого грунта 776.3 тыс. м³, был сделан вывод, что потери биомассы не превысят 120–180 т и в целом воздействие планируемого перемещения донных отложений на гидробионтов будет слабым, локальным и кратковременным.

Доклады Академии наук. 1995. Т.345. № 1. С.138–141 (Россия).

Экология. Энергетика

Утилизация оружейного урана и плутония

В результате реализации международных соглашений по ядерному разоружению в России высвобождаются значительные количества делящихся материалов: сотни тонн высокообогащенного урана (90% ²³⁵U)

и десятки тонн плутония (95% ²³⁹Pu). В этих материалах овеяствен колоссальный труд, затраченный в течение многих лет «холодной войны», в том числе труд по разделению изотопов. Рациональное использование накопленных оружейных материалов, стоимость которых исчисляется многими миллиардами долларов, жизненно важно для экономики страны.

Один из вариантов утилизации — применение их в качестве ядерного топлива АЭС. Однако действующие АЭС работают на слабообогащенном уране (2–3% ²³⁵U), а при разбавлении оружейного урана до соответствующих концентраций ²³⁵U будут потеряны результаты энергоемкой работы по разделению изотопов. Поэтому некоторые специалисты считают такой вариант утилизации не лучшим.

По мнению А.П.Феоктистова (Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН), рациональнее использовать оружейные уран и плутоний в двухзонных энергетических реакторах нового поколения: с центральной зоной, включающей высокообогащенное ядерное топливо, и периферийной — с необогащенным ураном. Спонтанное деление в центральной зоне ²³⁵U или ²³⁹Pu, сопровождающееся выделением нейтронов, будет инициировать в периферийной зоне захват нейтронов ядрами ²³⁸U с последующим образованием здесь изотопа ²³⁹Pu. По мере накопления плутония на периферии сюда будет перемещаться активная зона с энерговыделением за счет деления ядер ²³⁹Pu.

Таким образом, для двухзонных реакторов нет нужды в гомогенном изотопном разбавлении оружейных материалов. Подбор параметров реактора позво-

лит обеспечить условия взрывобезопасной работы АЭС с двухзонными реакторами, независимо от возможных ошибок в действиях персонала. Дополнительное достоинство этого варианта — более глубокое выгорание исходного топлива.

По оценкам, только на базе накопленного оружейного плутония могут быть выработаны сотни гигаватт электроэнергии, тогда как сегодняшняя атомная энергетика стран СНГ дает 25 ГВт.

Доклады Академии наук. 1995. Т.345. № 1. С.39–42 (Россия).

Геология

154-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

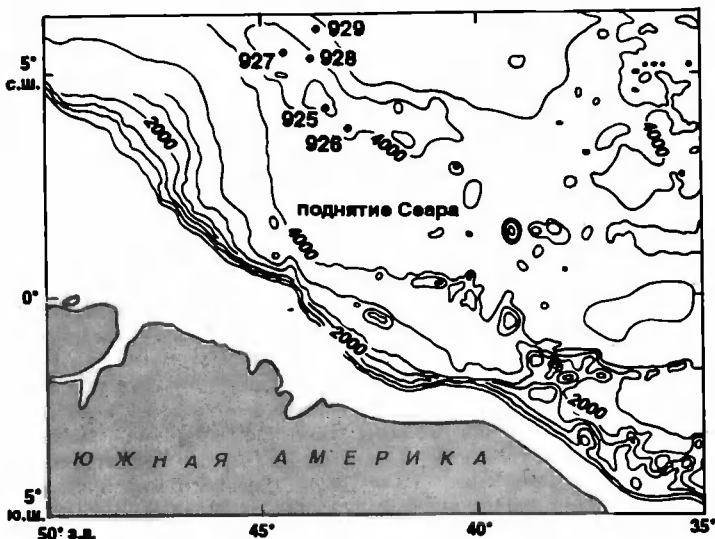
Одна из интригующих проблем палеоокеанологии, от решения которой зависит понимание современных процессов в океане, — это эволюция химического состава и циркуляции глубинных вод в кайнозойское время. Известно, что в Атлантическом океане в настоящее время существуют два источника глубинных вод: в Норвежско-Гренландском бассейне формируется Североатлантическая (North Atlantic Deep Water) глубинная водная масса, а в море Уэдделла — Антарктическая (Antarctic Deep Water). Североатлантическая движется на юг и через глубокие впадины западной части океана проникает в Южную Атлантику, где смешивается с Антарктической. Отсюда придонными течениями она переносится на восток, в Индийский и далее Тихий океан, вплоть до Алеутской островной дуги. История формирования Североатлантических глубинных вод, эволюция их химического

состава во времени и пространстве, взаимодействие с Антарктической водной массой изучены еще совершенно недостаточно.

Именно этим вопросам был посвящен 154-й рейс, проводившийся в начале 1994 г. на подводном поднятии Сеара в западной части Экваториальной Атлантики. Он выполнялся под научным руководством У.Карри (Вудсхолский океанографический институт, США) и Н.Шеклтона (Кембриджский университет, Великобритания); научным представителем Программы океанского бурения был К.Рихтер¹.

Изучение кайнозойской эволюции химического состава и циркуляции глубинных вод, а также температуры, продуктивности и состава обедненных биогенными элементами поверхностных вод в западной тропической части Атлантики было приоритетной целью работ в данном районе.

Всего в рейсе пробурено 19 скважин, заложенных в пяти точках (925—929). В пределах поднятия Сеара они образуют батиметрический профиль от его вершины (глубина океана 3041 м) до подножия северного склона (глубина 4356 м). Максимальная глубина забоя (930 м) достигнута в скв. 925, минимальная (358 м) — в скв. 928. Повсюду вскрыты большей частью непрерывные разрезы кайнозойских осадков, состоящие преимущественно из пелагических карбонатных (фораминиферо-нанопланктонных) илов, которые вниз по разрезу переходят в писчий мел и



Район Экваториальной Атлантики, где велась работы по Программе океанского бурения в 154-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюции» (цифры на изолиниях — глубины океана; 920—925 — точки бурения).

известняки с различной примесью терригенного материала. На склоне и у его подножия отмечаются горизонты переотложенных осадков оползневового происхождения. Самые древние осадки имеют позднепалеоценовый возраст (скв. 929). Поскольку в задачи рейса входило изучение исключительно палеоокеанологических проблем, ни одна из скважин не была добурена до акустического фундамента.

Результаты лабораторных исследований материалов рейса пока не опубликованы, однако уже сейчас можно сказать, что после геохимического анализа (прежде всего изотопного состава углерода и кислорода) они позволят прояснить кайнозойскую палеоокеанологическую эволюцию и в данном регионе, и в Атлантическом океане в

целом, а также ее связь с оледенением в Антарктиде.

На сложность процессов, происходивших здесь на протяжении всего кайнозоя, указывает строение осадочных разрезов: практически во всех скважинах отмечено прогрессирующее увеличение снизу вверх содержания терригенного материала, начавшееся в миоцене. Рост темпов накопления осадков за счет терригенного материала особенно выражен начиная с 8 млн. лет назад. В это же время каолиновый состав глинистого вещества сменился на преимущественно иллитовый, что свидетельствует об изменении характера выветривания в бассейне Амазонки, служившем источником терригенного материала.

Разрезы всех скважин, за исключением самой мелководной (скв. 925), демонстрируют несколько эпизодов растворения карбонатных осадков в миоцене и плиоцене, указывающих на интенсификацию придонной циркуляции и подъем уровня карбонатной компенсации. Эти события синхронны периодам усиления про-

¹ Curry W.B., Shackleton N.J., Richter C. et al. // Leg 154 Preliminary Report, Ceara Rise, 1994, College Station: Ocean Drilling Program.

цессов растворения, которые ранее (108-й рейс) были зафиксированы в этом районе в абиссальной части океана. Об усилении придонных течений в отдельные периоды свидетельствуют также перерывы в накоплении осадков, отмеченные в скважинах 927 (15.5—13.0 млн. лет назад), 928 (28.5—27.1 млн. лет назад) и 929 (9.4—8.4 млн. лет назад).

По предварительным оценкам, наблюдаемая в осадках цикличность, отражающая изменения продуктивности карбонатного планктона в поверхностных водах, может быть скоррелирована с орбитальными циклами Земли, что позволит после проведения дополнительных расчетов и сопоставления с палеомагнитными данными более точно датировать различные палеоокеанологические события.

© И.А.Басов,

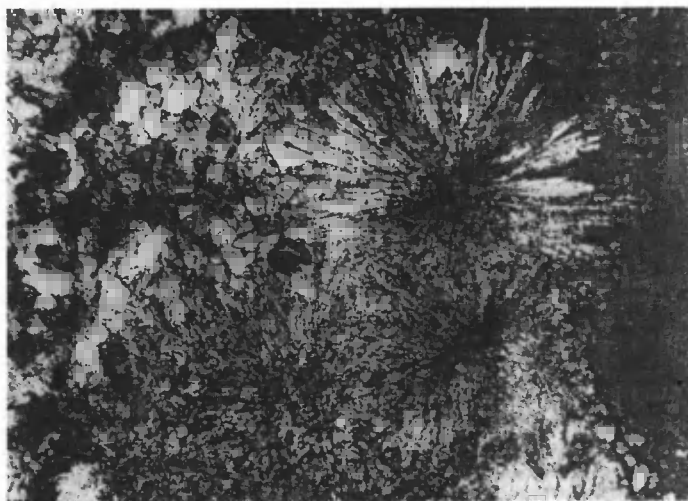
доктор геолого-минералогических наук,
Москва

Геология

Урановые месторождения на периферии вулкана

На юге Афганистана, в пустыне Регистан, в центре огромной (около 80 000 км²) Сейстанской впадины, советскими и афганскими геологами в свое время было обнаружено месторождение урана Ханнешин. Оно располагается по периферии карбонатитового вулканоплутонического комплекса и является собой первый пример чисто уранового оруденения, связанного с карбонатитами и не содержащего тория, титана и ниобия.

Месторождение имеет раннечетвертичный возраст



Радиально-лучистые скопления уранилсиликатов. Увел. 70.

(до 700 тыс. лет) и почти не затронуто эрозией. Оно представлено необычными для жильно-прожилковых месторождений уранилсиликатными рудами. Сохранению малоустойчивых уранилсиликатных минералов, несомненно, способствовали пустынные условия района.

Сейстанская впадина заполнена отложениями неогена. Главное жерло вулкана сложено кальцитовыми, анкеритовыми и анкерит-сидеритовыми карбонатитами с повышенным содержанием ниобия, редких земель цериевой группы и тория. Более поздние — побочные жерла — образованы кальцитовыми карбонатитами с повышенным содержанием фосфора, титана и циркония и обилием включений апатит-магнетит-пироксеновых и поливошпат-гранатовых пород. В песчаниках неогена радиально по отношению к вулканической структуре расположен разлом. В его пределах обнаруживаются эруптивные брекчии, подвергшиеся вместе с вмещающими их по-

родами процессам хлоритизации и доломитизации.

Именно в этих измененных породах и сконцентрированы руды. Сначала образовались породы с урансодержащим фторапатитом и цирконом, а потом — уранилсиликатные руды, содержащие собственные минералы урана:

уиксит —
 $(K, Na)_2(UO_2)[Si_5O_{13}] \cdot 3H_2O$
 и болтвудит —
 $K(H_3O)(UO_2)(SiO_4) \cdot H_2O$.

Геология рудных месторождений. 1995. Т.5. С.427—436.

Вулканология

Веньяминов опять ворчит

Вулкан Веньяминова, находящийся на п-ове Аляска, дремал шесть лет подряд, прежде чем на его вершине (2507 м над ур. м.) в июле 1995 г. начали раздаваться взрывы. Места эти в США населены слабо, видимость низкая, так что сообщения о его активности были довольно разрозненными и неуверенными. Однако в начале 1995 г.

искусственные спутники Земли зарегистрировали странные «пятнистые» тепловые потоки в кальдере вулкана. Дно этого 10-километрового в поперечнике углубления круглый год устлано льдом, а в середине высится шлаковый конус высотой 300 м, возникший во время предыдущих извержений.

Так как экипажи самолетов, пролетавших над этим районом, сперва ни о чем подозрительном не докладывали, ученые полагали, что тепловые «пятна» на космических снимках вызваны просто неравномерным остыванием старой лавы. Но когда из кратера начали подниматься клубы пара, стало ясно, что в контакт со снегом и льдом вступила свежая лава. Предположение о начале нового извержения вскоре подтвердили жители поселков Порт-Хейден и Перривилл, находящихся в десятках километров от горы: они заметили, что над ее вершиной временами вздымаются столбы пепла.

Геолого - геофизическая служба штата Аляска взяла вулкан Веньямина под тщательный контроль.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1995. V.20. № 4. P.9 (США).

География

Человек как геологический фактор

Р.Хук (R.Hook; Университет штата Миннесота, Миннеаполис, США) оценил сравнительную роль различных ландшафтообразующих факторов на территории США, как естественных, так и антропогенных.

Он установил, что ежегодно горнодобывающие ра-

боты, строительство дорог, зданий и других сооружений приводят к перемещению примерно 7.6 млрд. т грунта. В то же время реки, первенствующие среди природных процессов подобного рода, переносят лишь 1 млрд. т. Объем породы, перемещаемой различными природными агентами (ветер, воды, ледники) уже далеко отстает от объемов, связанных с деятельностью человека.

Хук построил карты, показывающие степень интенсивности перемещения грунта в различных регионах США. Поделив территорию страны на квадраты со стороной в один градус, автор принял, что в каждом из таких квадратов интенсивность строительства жилых домов и добычи песка и гравия прямо пропорциональна численности населения. Затем были учтены оценки перемещения грунтов в ходе добычи полезных ископаемых и при сельскохозяйственных работах. Все это в совокупности и дало примерную величину массы горных пород и почв, перемещаемых в результате человеческой деятельности.

Выяснилось, что в наибольшей мере антропогенные факторы изменяют ландшафт в пределах плотно заселенных морских побережий, в угольном бассейне штатов Западная Вирджиния и Кентукки и на Среднем Западе страны с его высокоинтенсивным сельским хозяйством.

На значительной части Запада США, где население сравнительно немногочисленно, основным фактором перемещения грунта остаются реки. Сильно пересеченная местность и неплотный растительный покров обуславливают здесь повышенный уровень естествен-

ной эрозии по сравнению с восточными штатами.

New Scientist. 1995. V. 145. № 1967. P.11 (Великобритания).

Сейсмология

Тысяча землетрясений в месяц

Вулкан Асама, находящийся на о.Хонсю, считается одним из самых активных в Японии. С того момента, когда летописцы отметили первый на человеческой памяти мощный его взрыв, здесь произошло более сотни таких бурных событий. Но это — в длительном масштабе времени.

В течение четырех с лишним лет начиная с 1991 г. он никак не проявлял свой крутой нрав. Однако весной 1995 г. начался новый этап его активности, причем скорее сейсмологической, чем вулканологической. Лишь за одни сутки 17 апреля сейсмическая станция, расположенная в 2 км к югу от вершины Асамы (2560 м над ур.м.), зарегистрировала 107 подземных толчков. Затем их количество сократилось до 10—80 в сутки. Но за весь месяц число землетрясений достигло 1031.

Чем это грозит, ученым еще не совсем ясно. Очевидно лишь одно: Асаму списывать со счетов как серьезную угрозу окрестному населению никак нельзя.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1995. V.20. № 4. P.8 (США).

Сейсмология

Статистика цунами

В последние годы наблюдается усиление сейсми-

Сильнейшие цунами в 1992—1994 гг.

Дата	Координаты	Магнитуда	Район	Макс. высота волны, м	Число убитых, раненых	Другая информация
2.09.92	11.8° с.ш. 87.3° з.д.	M=7.2	Никарагуа (вост. часть Тих. океана)	10.7	170 убитых, >500 раненых	тревога цунами не была объявлена
12.12.92	8.3° ю. ш. 122.3° в. д.	M=7.5	о-ва Флорес (Индонезия)	26	2080 убитых (50 % от цунами), 2144 раненых	несколько деревень полностью разрушены
12.07.93	42.8° с. ш. 139.2° в. д.	M=7.8	о. Окушири (Япония)	31.5	330(?) убитых, 240 раненых	полностью разрушены 700 домов
21.01.94	1.3° с. ш. 128.0° в. д.	M=7.2	о. Халмахера (Индонезия)	2	9 убитых, 300 раненых (возможно, землетрясением)	повреждено более 2000 домов и 800 судов; горизонтальный заплеск цунами >1.5 миль в глубь острова
2.06.94	10.2° ю. ш. 113.2° в. д.	M=7.2	Ява (Индонезия)	13.3	222 убитых, 17 пропавших без вести, 440 раненых	разрушено 1426 домов, 278 судов затонуло
4.10.94	43.4° с. ш. 147.6° в. д.	M=8.1	Южные Курилы	10.8	11 убитых, более 200 серьезно раненых	самое сильнейшее землетрясение в этом столетии в данном районе
8.10.94	1.1° ю. ш. 128.1° в. д.	M=6.9	о. Оби (Индонезия)	3	1 убитый, 12 серьезно и 40 легко раненых	113 домов серьезно повреждены, 364 частично
14.11.94	13.5° с. ш. 121.3° в. д.	M=7.1	Миндоро (Филиппины)	7.2	78 убитых, 248 раненых, 9 пропавших без вести	800 домов разрушены полностью, 3288 частично

ческой активности в Тихом океане, в связи с чем резко возросло число сильнейших цунами.

В таблице приведены обработанные сведения о катастрофических цунами 1992—1994 гг.

В Комиссию по цунами и Научно-координационный центр цунами в порядке международного обмена регулярно поступают данные о всех событиях подобного рода.

К числу самых последних сообщений можно отнести информацию о двух цунами в районе Индонезии и Новой Гвинеи, произошедших 1 января 1996 г. (высота волны до 3.5 м) и 17 февраля 1996 г. (высота волны

7 м). В настоящее время данные обрабатываются.

© А.Б.Рабинович,
кандидат физико-математических наук,
заместитель директора
НКЦЦ
Москва

Палеонтология

Гигантский хищный динозавр

Большие хищники, венчающие вершины пищевых пирамид, были редки на Земле во все времена. Поэтому находки огромных хищных динозавров столь малочисленны.

Долгое время были известны только два таких гиганта: *Tyrannosaurus rex* и слабо изученный *Deinonychus mirificus* — оба из Северного полушария. И вот недавно на юге Аргентины, в Патагонии, найдены довольно большие фрагменты скелета (включая череп, тазовый пояс и хвост) еще одного огромного хищника, длина тела которого могла превышать 12 м, а масса достигала 6—8 т. Под его брюхом мог бы пройти человек (если бы уцелел).

По этой находке был описан новый род и вид — *Gigantosaurus carolinii*, названный так в честь Р.Каролини, нашедшего окаменелость.

Внешне вновь описанный ящер напоминал тираннозавра. Жил этот гигантозавр приблизительно 100 млн. лет назад. На сегодня он — крупнейший известный наземный хищник Южного полушария, а возможно, и мира (тираннозавр имел близкие размеры, но, как показывает толщина костей, был более стройным и легким).

Nature. 1995. V.377. № 6546. P.224—226 (Великобритания).

Палеонтология

Древний далекий родственник ехидны и утконоса

В настоящее время единственные представители отряда однопроходных подкласса яйцекладущих — это австралийские ехидна и утконос. До сих пор палеонтологам были известны лишь прямые предки этих наиболее примитивных млекопитающих.

Но вот шахтеры, добывающие опалы в районе хребта Лайтнинг-Ридж, что на севере центральной части штата Новый Южный Уэльс (Австралия), обнаружили остатки давно вымерших животных. Палеонтолог Т.Фланнери (T.Flannery; Австралийский музей, Сидней) ознакомился с находкой и установил, что это челюсть неизвестного науке животного, существовавшего около 120 млн. лет назад, в раннем мелу, и названного *Kollikodon ritchiei*. Это было млекопитающее, размножавшееся яйцами. Для его классификации в отряде однопроходных пришлось создать новое семейство — *Kollikodontidae*. Его название образовано от слова *kollix*, означающего малень-



Челюсть колликодона.

кую сдобную булочку с изюмом, так как именно на нее очень похожи отлично сохранившиеся коренные зубы животного.

В Австралии это вторая находка млекопитающего мезозойской эры. Другое древнее примитивное млекопитающее — стероподон — тоже было однопроходным, но у него значительно больше сходства с современными ехиднами и утконосами. Существенные различия между стероподоном и колликодоном позволяют утверждать, что однопроходные разделились на разные группы задолго до мелового периода.

Колликодон в 10 раз крупнее любого млекопитающего того времени. Помимо этого, его коренные зубы схожи с теми, которыми тогдашние морские хищники перемалывали прочную раковину древних моллюсков.

Очевидно, колликодон тоже обитал в море и занимал почти пустующую экологическую нишу. Этим, вероятно, и объясняются его сравнительно крупные размеры: немногие морские пресмыкающиеся такой величины могли составить конкуренцию колликодону в поисках пищи. А на суше увеличению размеров млекопитающих препятствовали

крупные наземные пресмыкающиеся — ведь то был век господства динозавров.

Рабочие поверхности коренных зубов колликодона настолько необычны, что палеонтологи первоначально не были уверены в принадлежности его к однопроходным. Но, во-первых, в челюсти ископаемого имеется канал, где размещался крупный нерв, а это типично для всех однопроходных, у которых «клюв» (передняя часть головы) снабжен электрочувствительным органом. Во-вторых, малые резцы колликодона намного мельче, чем основные, и это тоже характерно для ехидны и утконоса. Резец колликодона разделен крестообразными углублениями на четыре куполообразных сегмента; режущих краев нет. Именно это придает зубам ту специфическую форму, которая и послужила основанием для имени животного.

Видовое название — *Kollikodon ritchiei* — образовано от фамилии сотрудника Австралийского музея А.Ритчи, который удостоился такой чести потому, что потратил бездну усилий и времени, чтобы убедить шахтеров в необходимости извещать ученых о находках ископаемых остатков. Ему даже удалось найти спонсоров, создавших фонд для вознаграждения за этот труд.

Nature. 1995. V.377. № 6548. P.418; New Scientist. 1995. V.148. № 1999. P.19 (Великобритания).

Палеоантропология

Гуманизм в древнем обществе

В 1994 г. случайный прохожий заметил, что из промерзших пород на прибрежном морском откосе около пос. Барроу (Аляска) торчит человеческая голова.

Старейшины проживающего рядом племени обратились к начальнику антропологической экспедиции, ведущей поблизости раскопки, Г.Шизэну (G.Sheehan; Брин-Моурский колледж, штат Пенсильвания, США). В земле оказалось скрыто тело 4—8-летней девочки-аборигенки, захороненной около 800 лет назад. С помощью горячей воды его «вытаили» из вечной мерзлоты и перевезли в Провиденсский госпиталь в Анкоридже. Прибывший по вызову эксперт М.Циммерман (M.Zimmerman; Маунт-Синайский медицинский центр, Нью-Йорк), совершив вскрытие, установил, что причиной смерти был голод: в желудке девочки находилась земля и клочки шерсти животного.

В ходе дальнейших микроскопических исследований было выяснено, что при жизни девочка страдала редким генетическим заболеванием, при котором организм не способен производить альфа-1-антитрипсин, необходимый для предотвращения легочных инфекций: в тканях легких и печени присутствовали характерные для этой болезни патологические изменения.

Детальный генетический анализ останков еще предстоит, но ученые убеждены в правильности своего первичного диагноза. Ныне дефицит альфа-1-антитрипсина встречается примерно у одного из 10 тыс. человек.

Очевидно, родители девочки осознавали, что она обречена, но, несмотря на это, а также на собственное нелегкое выживание в тяжелых полярных условиях, всячески «тянули» ребенка от младенчества до 4—8-летнего возраста.

Захоронение отличается аккуратностью. Рядом с

телом находились санки из китовой кости, на которых эту несчастную девочку, не способную самостоятельно ходить, может быть, раньше возили по деревне, а затем доставили к месту погребения. Что же касается содержимого желудка, то антропологам известно множество и более поздних случаев, когда здесь в случае голода давали детям пожевать клочки звериной шкуры.

Антропологи сделали вывод, согласно которому в древние века люди на Аляске составляли достаточно развитое общество, способное поддерживать своих членов, даже находящихся в безнадежном состоянии.

New Scientist. 1995. V. 145. № 1967. P.10 (Великобритания).

Социология

Женская доля: долгий путь к равенству

Организация Объединенных Наций опубликовала экономо-демографический отчет о нынешнем положении женщин во всем мире, приуроченный к Всемирной женской конференции (Пекин, август—сентябрь 1995 г.). Авторы отчета разработали таблицу индексов, учитывающую данные о заработной плате, продолжительности жизни, уровне грамотности, посещаемости школы и др.; за единицу измерения принято полное равенство с мужчиной.

Установлено, что женщины не достигли равного с сильным полом положения ни в одной из стран мира. Наилучшая доля (первые места в таблице) — у женщин Швеции, Финляндии, Норвегии и Дании, но и здесь, по состоянию на

1992 г., индексы составляют от 0.919 до 0.904 (правда, по сравнению с 1970 г. показатели в каждой из этих Скандинавских стран повысились примерно на 0.150—0.200 «очков»). Пятое и шестое места разделяют США и Австралия с одинаковым показателем 0.901. За ними по убывающей идут Франция (0.898), Япония (единственная в первой десятке азиатская страна — 0.896; она же — «рекордсмен» по темпам улучшения женской доли), Канада (0.891) и Австрия (0.882). Ни одно государство Южной Америки, Африки, Восточной и Центральной Европы в число ведущих не попадает.

Отмечено, что в богатых странах женщины, как правило, дальше продвинулись по пути равенства с сильным полом, но не везде. Здесь составители отчета укоризненно указывают на Нидерланды, Испанию и Канаду, где общий уровень защищенности недостаточно пока сказался на положении женщин. То же касается арабских государств и ряда стран Латинской Америки, где средний доход на душу населения совсем не мал.

Любопытно обстоят дела в Великобритании. Здесь слабый пол почти совсем сравнялся с сильным в области образования и здравоохранения, но значительно отстает по уровню оплаты за равный труд: англичанка в среднем получает лишь 70% того, что ее коллега, «говорящий басом». Поэтому Великобритания занимает в области экономического равенства женщин лишь 39-е место в мире, т.е. ниже, чем Турция, Танзания, Бразилия и Замбия! Кроме того, в Великобритании разрыв между доходами очень богатых и

очень бедных людей (вне зависимости от пола) самый большой среди 20 наиболее процветающих стран мира.

Для мужчины (в среднем по планете) неоплачиваемым оказывается около трети затраченного труда, для женщины этот показатель достигает двух третей (здесь и приготовление пищи, и уход за ребенком, и стирка, и доставка дров и воды). Повсеместно ее рабочий день длится намного дольше, в особенности в сельской местности. Максимум такого вида неравенства отмечается в кенийской деревне, где разница достигает трех часов в сутки. Нередко этому способствует ухудшение природной среды обитания; например, в Судане вырубка ближних к поселениям лесов втрое увеличила время на сбор хвороста, чем заняты исключительно женщины и девушки.

В политике, «большой экономике» и культуре картина аналогичная. В парламентах всех государств женщинам принадлежит лишь 10% мест. Банковский кредит, предоставленный мужчинам, составляет 9/10 общей его суммы. Среди

лауреатов Нобелевских премий женщин насчитывается лишь 4.4%.

В числе бедняков всего мира женщины составляют 70%, среди неграмотных — 65%.

И все же продвижение к равенству полов идет почти повсеместно. В 79 государствах, по которым было возможно сравнение, за последнюю четверть века индекс положения женщин заметно повысился. А продолжительность их жизни повсюду превышает мужскую — в среднем на 5 лет. Такого большого разрыва статистика никогда ранее не отмечала.

Human Development Report. 1995. UN Development Program. N.Y.; New Scientist. 1995. V.147. № 1991. P.4 (Великобритания).

Археология.
Космические исследования

Древний Убар виден на космических снимках

В древних летописях Востока нередко упоминается город-государство Убар. Более трех тысячелетий это был всемирный центр торговли благовониями: при-

мерно с 2800 г. до н.э. и до 300 г. н.э. не было каравана с таким драгоценным грузом, который не сделал бы здесь остановку, прежде чем пересечь безжизненные пески Аравии. Погубили Убар те же самые пески; недаром эта часть современного султаната Оман, охватывающая чуть ли не 800 тыс. км², официально именуется пустыней Руб-эль-Хали или Пустым кварталом.

Но где точно находился Убар, полтора тысячелетия укрытый барханами, стало известно лишь с наступлением космической эры: очертания города и слабый пунктир сходящихся когда-то к нему караванных троп стали различимы на снимках, сделанных с борта искусственных спутников Земли.

Теперь археологи, получив эти снимки от Национального управления США по авионавигации и изучению космического пространства, готовят экспедицию для раскопок на месте существования этой древней цивилизации.

New Scientist. 1995. V. 147. № 1992. P.11 (Великобритания).

КОРОТКО

Ассоциация британских музеев удостоила первой премии за новаторство М.Купера (М.Соорег; Управление национальных музеев и картинных галерей Великобритании), который сконструировал эффективную лазерную установку для очистки скульптурных памятников от налета: короткими импульсами ИК-излучения мгновенно повышая температуру напластования и

либо испаряют его, либо настолько ослабляют связь с основным поверхностным слоем, что «грязь» просто отваливается. Денежная часть этой премии поделена с коллективом сотрудников Стратклайдского университета (Англия), который сконструировал прибор для измерения концентраций уксусной и муравьиной кислот, также повреждающих предметы искусства.

Вторую премию получи-

ли ученые из Сент-Эндрюсского университета за создание методики, которая благодаря использованию диоксида углерода в закритическом состоянии позволяет консервировать деревянные предметы, поднятые с морского дна археологами.

New Scientist. 1995. V. 146. № 1978. P.11 (Великобритания).

СЧАСТЛИВЫЙ ЯКОВ ИЛЬИЧ

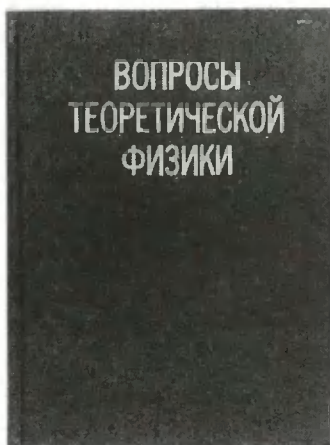
Г. Ф. Николаев

Санкт-Петербург

ДОСТОЙНЫМ пополнением длинного ряда научных публикаций выдающегося физика России Я.И.Френкеля (1894—1952) и работ о нем стал сборник статей, изданный к 100-летию со дня его рождения. Составитель книги и автор многих статей и комментариев — сын Якова Ильича В.Я.Френкель. Среди авторов воспоминаний и статей — Ж.И.Алферов, Б.П.Захарченя, А.И.Слущкер, И.Н.Топтыгин, Д.Г.Яковлев и другие видные ученые, работающие в Физико-техническом и Политехническом институтах, в которых на протяжении трех десятилетий проходила научная деятельность Я.И.Френкеля.

Книга примечательна не только выразительностью возникающего с ее страниц словесного портрета Я.И.Френкеля, но и его научными статьями, никогда ранее не публиковавшимися, а также документами к биографии, в частности перепиской с Н.Бором.

Вопреки сугубо академическому заголовку, книга получилась сочная, разнообразная. Составленная бережно и профессионально, она может заинтересовать не только специалистов-физиков, математиков, историков науки, — но и самый широкий круг читателей. Правда, тираж ее всего 650 экз., и, едва появившись, она мгновенно попала в



Вопросы теоретической физики. Сборник статей к 100-летию со дня рождения Я.И.Френкеля. Отв. ред. Ж.И.Алферов. Санкт-Петербург: ПИЯФ. 1994. 259 с.

разряд библиографических редкостей.

Яков Ильич Френкель — это, прежде всего, корифей современной теоретической физики, автор фундаментальных исследований во всех областях теоретической физики, таких учебников как «Статистическая физика», двухтомная «Электродинамика» и «Волновая механика», классической монографии «Кинетическая теория жидкостей»: по ним училось не одно поколение физиков, инженеров, будущих ученых. Его имя в одном ряду с именами самых выдающихся физиков-теоретиков уходящего века.

Обширный документальный материал позволяет

почувствовать незаурядный характер Я.И.Френкеля, заглянуть в его внутренний мир. Я.А.Сморodinский отмечал: «В своем умении находить адекватные модели и строить гипотезы Яков Ильич приближал физику к искусству, искусству познания природы, красоту которой он умел видеть. Не случайно, что он любил искусство, играл на скрипке, владел кистью, восторгался импрессионистами. Кажется, что и сам он был импрессионистом в физике — ведь были же в физике свой ренессанс и свой классицизм!»

Ощущение гармонии, возникающее от знакомства с построенной физической теорией, присуще, наверное, лишь тем работам, авторам которых счастливо удалось максимально приблизиться к переменной, неуловимой истине — самой природе. Яков Ильич был из числа таких счастливых. В 1934 г. в беседе с ленинградскими писателями он таким образом сблизил научное и художественное творчество:

«Исчерпав путь аналогий, физик, пытающийся разобраться в новом материале, отнюдь не обращается к логике, но седлает коня своей фантазии, — писал он. — Новая теория тем лучше, чем она проще по форме и шире по содержанию — в смысле охвата экспериментального материала, чем больше, так сказать, ее коэффициент полезного действия. Физи-



Мемориальная доска, установленная в Санкт-Петербурге на главном здании Физико-технического института к 100-летию Я.И. Френкеля. Медный барельеф работы Энгеля Насибулина.

ческая теория с высоким коэффициентом полезного действия называется красивой и вызывает эстетическое наслаждение. Понятие изящества столь же близко и дорого математику и физику, вообще всякому ученому, не только наблюдающему явления, но и осмысливающему их, как и поэту, музыканту, художнику».

Не только образное мышление, но и мягкий юмор были, возможно, важнейшими свойствами натуры Я.И. Френкеля. «Физическая теория подобна хорошо сшитому костюму, а плохая — тришкину кафтану, — писал он. — Физик же теоретик подобен портному».

Вот портрет Якова Ильича, который я постарался составить, наподобие мозаики, из высказываний о нем:

«Он был буквально заполнен идеями и вместе с тем превосходно владел всей техникой теоретичес-

кой физики. Хотя его идеи были иногда довольно странными, они всегда были плодотворными... Я горд тем, что могу причислить его к моим друзьям и научным коллегам» (Макс Борн).

«Он давал главное — давал новые идеи, создавал новые концепции. Эти идеи и концепции подхватывались другими учеными, которые детально их разрабатывали, подвергали тщательному математическому анализу и в результате доказывали их справедливость (а иногда и опровергали их). Имена этих ученых известны всем специалистам в соответствующей области науки, решающая же роль Якова Ильича (хотя имя его и упоминается в первых работах «основоположников» этих областей) слишком часто оставалась в тени» (И.Е.Тамм).

«Я считаю одной из важнейших особенностей его научного стиля ту поразительной чистоты моральную атмосферу, которая окружала Якова Ильича. Трудно было представить его борющимся за приоритет или осуждающим стиль другой школы. В его руках наука становилась необычайно благородным занятием, лишенным мелких интересов. Постепенно в моем сознании все яснее проступает влияние Якова Ильича...» (А.Б.Мигдал).

«Эти сильные стороны его таланта («идея», а не «метод») способствовали тому, что у Френкеля были не только многочисленные ученики в Физтехе и за его пределами, но и так называемый «внутренний колледж» — множество непрямых учеников, пришедших в физику не в результате непосредственного с ним общения, а под воздействием его книг, учебников,

статей и научно-популярных очерков» (Ж.И.Алферов).

«Яков Ильич Френкель принадлежит к числу самых крупных физиков-теоретиков нашего времени... к славной плеяде ученых-физиков, создавших здание современной физики... При воспоминании о Якове Ильиче возникает очаровательный образ человека, безгранично доброжелательного, любящего свою семью и свою родину, преданного науке, готового всеми возможными средствами оказать помощь каждому, кто в ней нуждается» (А.Ф.Иоффе).

«Он был очень открытым, ничего в нем не было подспудного. Обо всем, что его интересовало, он сразу же расспрашивал, с увлечением рассказывал о всех своих идеях и планах. Наконец, с ним было еще и просто весело — это был остроумный и понимающий шутку человек. Добавьте к этому его молодость — обаяние открытого и влюбленного в жизнь человека» (Н.Н.Семенова).

«Как много талантов было у Якова Ильича! Вот он ведь не только рисовал, но и играл на скрипке. Да, но главный талант его — это была удивительная доброта!.. Я никогда не встречал таких добрых людей!..» (П.Л.Капица).

Новые материалы, опубликованные в рецензируемом сборнике, дополняют мозаичный портрет Я.И.Френкеля. Несомненный интерес вызовут ранее не публиковавшиеся статьи Я.И.Френкеля «Противоположность живого и мертвого. Опыт физического обоснования», «Принцип причинности и полевая теория материи», «О температуре солнечной короны», краткие авторефераты его физико-химических работ, а также представленная в наиболее

полном виде переписка Н.Бора и Я.И.Френкеля в период 1936—1946 гг. Существенно дополняют впечатление о Якове Ильиче — человеке и ученом — любовно подобранные миниатюры «Из научного и эпистолярного наследия...»

Трудно даже лишь коснуться всего, что есть в книге, но как обойти любопытный факт, ставший известным недавно, который приводит В.Я.Френкель? Речь идет о письме Якова Ильича И.В.Курчатову, датированном 22 сентября 1945 г., в котором он «развивает свои соображения о существенных и важных с его точки зрения возможных направлениях работ по пути создания бомбы». В.Я.Френкель справедливо указывает на значимость ряда идей Якова Ильича, изложенных им в этом письме. Многие из их числа были к тому времени уже «на вооружении» и у американских и у наших физиков (о чем он, естественно, не знал). Но ему принадлежит безусловный приоритет в том, что касается устройства электроядерных реакторов и использования обычной атомной бомбы для инициации взрыва водородной бомбы. Стоит заметить, что соответствующую идею в общем виде Яков Ильич высказывал еще в далеком 1925 г., задолго до создания атомных бомб и предложений о бомбах водородных.

«В истории науки, как, разумеется, и в самой науке, существенной и содержательной может оказаться постановка тех или иных вопросов, — пишет В.Я.Френкель в статье «Работы Я.И.Френкеля по ядерной физике». — В этом плане заслуживает внимания вопрос о том, на основе каких соображений

и принципов формировал в самом начале 1943 г. свою «урановую» команду И.В.Курчатов. На рассматриваемый момент из числа нескольких физиков-теоретиков, имеющих важные достижения в работах по физике ядра, наиболее значительных результатов, как представляется, достиг Я.И.Френкель — в перечисленных выше его исследованиях 1936, 1937 и 1939 гг. Поэтому кажется по меньшей мере странным, что он не был привлечен к работам по созданию бомбы».

Нравственный порыв Я.И.Френкеля — письмо Курчатову — естественен и понятен: Яков Ильич испытывал чувство тревоги после использования атомного оружия американцами в Хиросиме и Нагасаки. «Весьма удивительно и то обстоятельство, — продолжает В.Я.Френкель, — что на письмо Френкеля не последовало абсолютно никакой реакции со стороны И.В.Курчатова. Об этом мне рассказывала моя мать, С.И.Френкель, уже после смерти отца. Не зная, естественно, о содержательной части докладной записки, она вспоминала, что Яков Ильич (будучи, конечно, в курсе особенностей и тонкостей организации секретных исследований) был удивлен и несколько уязвлен отсутствием хоть какого-либо отклика на нее».

Якова Ильича как бы не заметили. Что это? Внутринаучные интриги? Близорукость? Естественно предположить, что, обладая прямым, открытым характером, привычкой говорить правду без оглядки на авторитеты, внутренней свободой и независимостью, Яков Ильич действительно не мог не иметь в научном окружении людей, испытывавших к нему не самые добрые

чувства. Однако предполагать, что подобные чувства, влияя на выбор «команды», превысили чувство ответственности в один из напряженнейших периодов истории нашей страны, как-то не хотелось бы. Вот если бы были факты...

Осмелюсь высказать несколько соображений по этому поводу. Думаю, дело заключается в том, что Яков Ильич, абсолютно лишенный способности к нравственному конформизму, не вписывался ни в какую «партию». Конечно, он был неуправляем! А это, может быть, было решающим обстоятельством при отборе кандидатов в курчатовскую команду.

Еще один возможный ключик к разгадке причин молчания И.В.Курчатова просматривается в блестящих по форме и содержанию миниатюрах из эпистолярного наследия Я.И.Френкеля. Ограничусь здесь только теми, которые относятся к нравственности и, частично, политике (опуская его глубоко оригинальные суждения о научном творчестве, искусстве, характеристике коллег, да и самого себя).

Вот его впечатление от посещения катакомб, расположенных неподалеку от

Рима, где были захоронены останки около миллиона христиан:

«Оглядывая это кладбище, я думал: зачем христиане боролись и гибли? Стоило ли утверждать в мире христианство для того, чтобы затем во имя Христова столь же зверски расправляться с супостатами, как некогда с христианами расправлялись цезари? Ведь достигнув своей цели, утвердив свой идеал, люди всегда и всюду его порочили» (1927).

«Просматривая «Мысли» Паскаля, я постоянно думаю о тщете нашей земной суеты и возвращаюсь к сравнению людей с мыльными пузырями. Любопытно, что эти мои мысли не покидают меня даже в самые, казалось бы, веселые минуты» (1944).

«В идеальном государстве подлецы порядочны из карьерных соображений» (1945).

После начала серии открытых процессов и последовавших за ними арестов, газетных разгромов крупных ученых и научных школ:

«Особенностью нашего государства является его удивительная неблагодарность» (около 1938 г.).

По поводу засекречивания:

«Мы все засекречиваем, чтобы они не знали, что не известно нам» (30—40-е годы).

Конечно, не только такие и подобные им слова, но информация об умонастроениях Я.И.Френкеля, при его открытости и доверчивости, конечно же, имелась у «компетентных органов» в эпоху тотальной слежки и доносительства. Возможно, собранные в увесистую папку, сведения эти рассматривались в тайных и явных инстанциях, решавших судьбу кандидатов на участие в «урановой» команде, и, естественно, сыграли свою роль.

Думается, само провидение уберегло Якова Ильича от дел, в те времена «архиважных», но ныне приобретающих уже какие-то иные оттенки...

В предисловии к «Оптике» Ньютона Эйнштейн писал: «Счастливый Ньютон, счастливое детство науки!» Вслед за Эйнштейном мы можем воскликнуть: «Счастливый Яков Ильич!» Пройдя сквозь бури и штормы своего времени, он сумел сохранить светлую душу, оптимизм и безупречную репутацию великого ученого. Теперь уже — на века!

Парк четвертичного периода

В. Л. Динец

Фонд Актуальной Биологии
Москва

МАТЕРИАЛЫ «Природы» о сохранении находящихся под угрозой исчезновения пород домашнего скота, в частности Ю.А.Столповского, С.В.Уханова «Бурая карпатская порода» (1995. № 12. С.46—49), заставили меня вспомнить об одном интересном наблюдении, а может быть, и маленьком открытии, сделанном несколько лет назад. Прежде чем о нем рассказать, позволю себе напомнить читателям, откуда, собственно, появился крупный рогатый скот.

Нам сейчас трудно поверить, что всего две тысячи лет назад территория нынешней южной России не уступала по богатству фауны африканской саванне. Степи гудели под копытами бесчисленных стад куланов, диких лошадей-тарпанов, сайгаков, шерстистых носорогов и бизонов. В лесостепях и лиственных лесах паслись лесные тарпаны, зубры и огромные быки-туры.

Тур (*Bos primigenius*) был не только самым крупным, но и самым величественным зверем Древней Руси. Еще в XII в. он оставался наиболее популярным объектом княжеских охот. В отличие от более робких зубров быки-туры бесстрашно бросались на человека, угрожавшего стаду. «Тура мя два метала на розъх и с конемъ...» — писал Владимир Мономах. Кроме Европы, тур жил на Кавказе, Ближнем и Дальнем Востоке.

Быки-туры были черными, с белой полоской вдоль хребта, коровы — бурыми. Эти великолепные создания пол-

ностью истреблены в XVI в. Но остались их измельчавшие потомки — домашние коровы.

В нашем веке в Германии был проведен удивительный эксперимент. Двое энтузиастов-исследователей скрестили домашний скот нескольких древних аборигенных пород. Использовались известные своим темпераментом испанские черные быки, которых выращивают для корриды, парковый скот, сотни лет живший в одичавшем состоянии в одном из районов Англии, и другие породы. Результат оказался совершенно поразительным, хотя и понятным с точки зрения генетики. Полученные после многочисленных скрещиваний животные выглядели точь-в-точь, как исчезнувший тур. В отличие от подавляющего большинства известных науке домашних пород «возрожденные» туры обладали половым диморфизмом в окраске: быки — черные, с белым «ремнем» вдоль спины, коровы — гнедые.

Другие ученые скептически отнеслись к результатам опыта. Многие из них и поныне склонны считать искусственно полученных туров всего лишь еще одной породой домашнего скота. Хотя селекционная работа продолжается, «новых туров» по-прежнему очень немного, и увидеть их можно только в нескольких немецких зоопарках.

Судьбу тура разделила дикая лошадь-тарпан (*Equus gmelini*). Когда-то существовало два подвида тарпанов: степной, живший от Венгрии до Урала, и лесной,

обитавший в Пруссии, Польше и Литве (а раньше, вероятно, по всей Европе). Лесной тарпан вымер в XVIII в., последний степной дожил в Аскании-Нова до начала нашего века.

В результате экспериментов по скрещиванию примитивных пород лошадей удалось получить почти точную копию вымершего лесного тарпана: маленьких серых лошадок с черной полосой вдоль спины и широкими лопатообразными копытами, приспособленными для раскапывания снега зимой. Правда, в отличие от настоящих тарпанов, грива у них не короткая и стоячая, а длинная, мягкая, как у домашних лошадей.

«Новым тарпанам» повезло чуть больше, чем «новым турам». Они живут теперь на свободе в нескольких заповедниках ФРГ и Польши. Несколько голов есть и в Белоруссии, в Беловежской пушце.

«Восстановлением» же степного тарпана никто никогда не занимался, хотя на юге Украины еще есть лошади, в жилах которых течет кровь тарпанов, и такой опыт в принципе возможен.

Мне представляется, что скептицизм ученых в отношении «возрожденных» видов не вполне оправдан. Разумеется, нельзя создать таким путем животных, абсолютно тождественных вымершим. И все-таки генетические различия между вымершими и воссозданными формами не так уж велики. Если бы «новые» туры и тарпаны были возвращены в природу, естественный отбор постепенно привел

бы их «в соответствие» с прототипом.

Недавно поступило сообщение о сенсационном открытии, сделанном известным французским путешественником Мишелем Песселем. В одной из тибетских долин его экспедиция обнаружила полудиких лошадей, очень похожих на степных тарпанов.

Принимать на веру газетное сообщение преждевременно, к тому же чрезмерная научная добросовестность никогда не была недостатком уважаемого французского коллеги. Но в принципе такое открытие вполне возможно.

В 1993 г., путешествуя по Китаю, я обратил внимание на коров, которых содержат крестьяне в горах Западной Сычуани. Мне бросилось в глаза, что быки у них черные, с белым «ремнем», а коровы серые или гнедые. Кроме того, практически у всех быков рога были правильной формы и направлены вперед и вверх — точь-в-точь как у тура.

Тогда мне и в голову не пришло, что в столь густонаселенном районе можно открыть что-нибудь

новое. Однако нигде в соответствующей литературе я не нашел упоминаний об этой породе. Более того, за исключением немногих пород, у домашнего скота не бывает полового диморфизма в окраске.

Вполне возможно, что это одна из самых древних пород среди существующих, в наибольшей степени сохранившая гены настоящего тура. В любом случае вновь открытые породы нуждаются в дальнейшем изучении, ведь они могут быть использованы для дальнейшей селекционной работы по «восстановлению» навсегда исчезнувших видов.

Сейчас в России нет ни одного экземпляра «нового тура» или «нового тарпана». Большинство людей даже не знает, что подобные звери когда-то существовали. Между тем Россия — вероятно, единственная страна в Европе, обладающая возможностью вернуть их в природу. Тарпанам и особенно турам нужны обширные участки заповедных широколиственных лесов. Таких мест в Европе почти нет. Даже лесные массивы Беловеж-

ской пуши, Шотландии, Родоп и Татр не так уж велики и слишком часто посещаются людьми. Между тем тур — опасный зверь, и жить на свободе он может только там, где ни для кого не будет представлять угрозы. Кроме того, для полноценного отбора необходимо участие крупных хищников, которых в зарубежной Европе почти не осталось.

Единственное место, где «возрожденные» туры могли бы обрести подлинную свободу, — это Кавказский заповедник в Краснодарском крае. Там, в краю диких гор и дремучих лесов, в свое время были выпущены находившиеся под угрозой исчезновения зубры. Сейчас их уже несколько сотен. Впоследствии небольшие группы туров на вольном выпасе могли бы быть созданы и в крупных охотхозяйствах — по остроте ощущений эта «княжеская» охота сравнима лишь с охотой на африканского буйвола. Почему бы не попробовать создать на Кавказе хотя бы небольшие, но полностью не зависящее от человека стадо туров, вернув России одного из ее самых прекрасных диких обитателей?

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю. К. ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Т. Ю. ЛИСОВСКАЯ
Л. А. ПАРШИНА
М. С. ПОКРОВСКАЯ
К. Л. СОРОКИНА
Н. В. УЛЬЯНОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
М. Я. ФИЛЬШТЕЙН

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Э. Р. БОЯРСКАЯ,
Т. К. ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор
Н. Ф. БОДЕНЦОВА

Корректоры
Т. Н. МОРОЗОВА
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

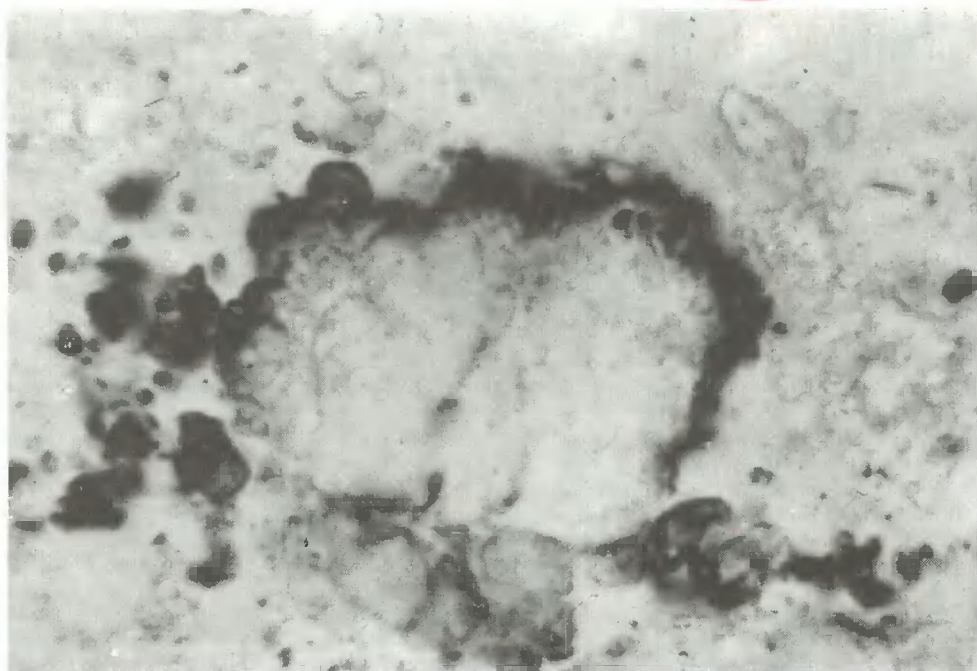
В художественном оформлении
номера принимали участие
Л. В. БОГАЧЕВ
В. С. КРЫЛОВА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-23-33
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 24.04.96
Формат 70×100 1/16
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 12,9
Усл. кр.-отт. 115,0 тыс.
Уч.-изд. л. 19,2
Заказ 2180

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Комитета Российской Федерации
по печати
142300 г. Чехов
Московской области
Тел.: (272) 71-336
Факс: (272) 62-536



За последние 40 лет благодаря успехам биологов и палеонтологов наши знания о древней жизни на Земле существенно пополнились. Изучение основных этапов жизни в докембрии показывает, что в течение первых трех миллиардов лет возникли сложные экосистемы, представленные одноклеточными микроорганизмами, а примерно один миллиард лет назад появились основные группы эвкариот. И хотя палеонтологическая летопись докембрия еще далеко не точна, картина далекого прошлого нашей планеты проясняется.

Сергеев В. Н., Нолл Э. Х., Заварзин Г. А. ПЕРВЫЕ ТРИ МИЛЛИАРДА ЛЕТ ЖИЗНИ: ОТ ПРОКАРИОТ К ЭВКАРИОТАМ

