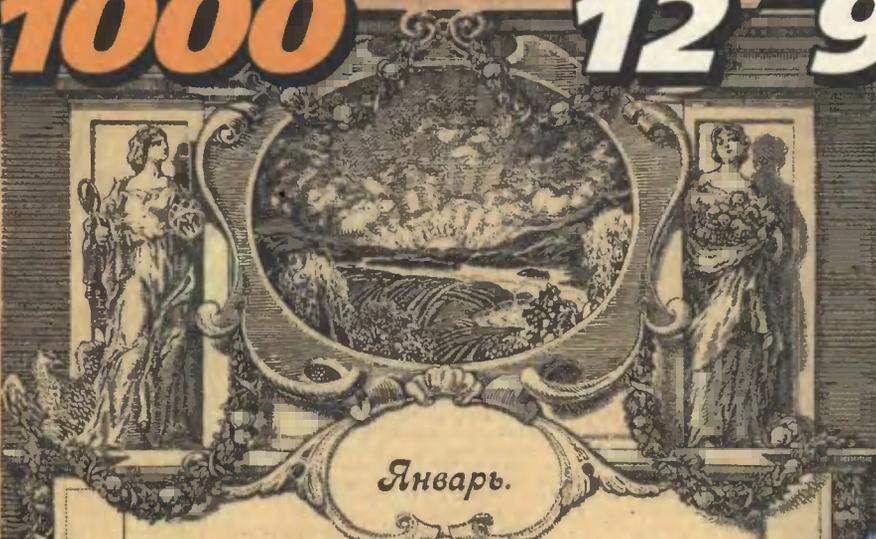


ПРИРОДА

№ 1000

12 98



Январь.

ПРИРОДА

Ежемесячный популярный естественно-исторический журнал для самообразования под редакцией проф. В. А. Вагнера и проф. Л. В. Писаржевского.

СОДЕРЖАНИЕ:

Акад. П. И. Вальденъ. Ломоносовъ какъ химикъ.

Проф. А. В. Нечаевъ. Успѣхи геологii.

Проф. В. А. Вагнеръ. Общественность у животныхъ и человѣка, II (био-социологическiй очеркъ).

Проф. Е. А. Шульцъ. Регенерация какъ одна изъ существенныхъ особенностей жизни.

Проф. С. В. Аверинцевъ. По побережью Чернаго континента (изъ записной книжки натуралиста).

Прин.-доц. П. Каммереръ. Къ вопросу о наследованii приобретенныхъ признаковъ.

Научныя новости и хроника.

Астрономическiя извѣстiя.

Метеорологическiя извѣстiя.

Библиографiя.

Книги, присланныя въ редакцiю.

Цѣна отдѣльной книжки 50 коп.



*Звени, торжественная ода!
Благоухай, венок лавровый!
Приветствуем тебя, «Природа»,
Дитя двенадцатого года,
Журнал седой — и вечно новый!*

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

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), 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), член-корреспондент РАН
Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик
Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук
Ю.К.ДЖИКАЕВ (ответственный секретарь), академик
Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик
В.А.ЖАРИКОВ (геология), академик
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), Л.А.ПАРШИНА (редактор отдела физико-математических наук), доктор геолого-минералогических наук
Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук
Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН
В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), 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), член-корреспондент РАН
М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук
С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН
А.М.ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика).



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук,
журнал «Природа», 1998

В НОМЕРЕ

3 Андреев А.Ф. МЕЗОСКОПИКА И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА

В мезоскопических системах характер сверхпроводимости обнаруживает тесную связь с фундаментальными свойствами пространства-времени. Изучение этого явления позволяет доказать реальность дополнительных координат, вводимых в суперсимметричных теориях поля.

11 Скулачев В.П. СТРАТЕГИИ ЭВОЛЮЦИИ И КИСЛОРОД

Кажущаяся непостижимость происхождения организмов во всей их сложности и совершенстве заставляла человечество обращаться к Создателю. Дарвин, введя понятие естественного отбора, «перевел» эволюцию с небес на землю. Но и после этого осталось немало вопросов. Может быть, ответ нужно искать на биохимическом уровне?

21 Виноградов М.Е., Виноградов Г.М. РОЛЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ПРОДУКТИВНОСТИ ОКЕАНА

Полвека исследователи разных стран пытались оценить количество первичного органического вещества, производимого Мировым океаном. Только недавно на этот счет были получены довольно согласованные данные. Теперь изучается влияние отдельных океанических экосистем на общую продуктивность.

30 Лем С. ВЕРА И ЗНАНИЕ

33 КРАСНАЯ КНИГА

Демина О.Н.
АРИСТОКРАТЫ СРЕДИ РАСТЕНИЙ

35 ЗЕРКАЛО ПРИРОДЫ (57, 85, 101, 109)

36 ОЧЕРКИ НАТУРАЛИСТА Булавинцев В.И. ЧЕРНЫЙ ВОРОН

42 Котляков В.М. СНЕЖНО-ЛЕДОВЫЕ РЕСУРСЫ МИРА

При создании Атласа снежно-ледовых ресурсов мира проанализирована обширная информация о снегах и льдах на нашей планете, собранная за последние четверть века.

61 Несис К.Н. ВАТАСЕНИЯ — КАЛЬМАР-СВЕТЛЯЧОК

67 Смилга В.П. ДЕСЯТЬ ИСТОРИЙ О МАТЕМАТИКАХ И ФИЗИКАХ (С АВТОРСКИМИ РЕЗЮМЕ) (Окончание)

78 Иванов В.И. ГЕНОМ ЧЕЛОВЕКА — МЕДИЦИНЕ

Молекулярная диагностика наследственных болезней, ставшая сегодня реальностью, — одно из важнейших достижений Российской программы «Геном человека», которая в этом году отмечает свое десятилетие.

86 Жарков В.Н. ОТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ПЛАНЕТОЛОГИИ

Без привлечения данных о других планетах Солнечной системы невозможно судить ни о том, как образовалась Земля, ни о ее эволюции в первые 600 млн лет.

98 Голицын Г.С., Израэль Ю.А. М.И. БУДЫКО — ЛАУРЕАТ ПРЕМИИ «ГОЛУБАЯ ПЛАНЕТА»

102 НОВОСТИ НАУКИ (20, 58, 66, 97)

110 РЕЦЕНЗИИ Лапо А.В. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ЯКУТИИ

111 НОВЫЕ КНИГИ

114 РЕДАКЦИОННАЯ ПОЧТА Рындина Э.З. ШТРИХ К БИОГРАФИИ Л.Д.ЛАНДАУ

117 ТЕМАТИЧЕСКИЙ И АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛИ ЖУРНАЛА «ПРИРОДА» ЗА 1998 ГОД

CONTENTS

- 3 Andreev A.F.**
MESOSCOPIC SYSTEMS AND
FUNDAMENTAL PROPERTIES OF
SPACE

In mesoscopic systems, the superconductivity pattern shows a close relationship to fundamental properties of space-time continuum. By studying mesoscopic superconductivity, it is possible to prove the existence of additional coordinates that figure in modern supersymmetric field theories.

- 11 Skulachev V.P.**
STRATEGIES OF EVOLUTION AND
OXYGEN

The origin of organisms in all their complexity and perfection seemed completely unfathomable, making humans to turn to the Creator. By introducing the concept of natural selection, Darwin brought evolution from the heavens down to earth. Yet many questions remained. Maybe, the answer should be sought on the biochemical level?

- 21 Vinogradov M.E. and Vinogradov G.M.**
THE ROLE OF HYDROTHERMAL
ECOSYSTEMS IN THE OCEAN'S
PRODUCTIVITY

For half a century, researchers in various countries attempted to estimate the quantity of primary organic matter produced by the world's oceans. Only recently have consistent data been obtained. Studies are now focused on the effect of individual oceanic ecosystems on the overall productivity.

- 30 Lem S.**
FAITH AND KNOWLEDGE

- 33 RED DATA BOOK**
Demina O.N.
ARISTOCRATS AMONG PLANTS

- 35 MIRROR OF PRIRODA (57, 85,
101, 109)**

- 36 ESSAYS ON WILDLIFE**
Bulavintsev V.I.
BLACK RAVEN

- 42 Kotlyakov V.M.**
SNOW AND ICE RESERVES OF
THE WORLD

The compilers of the Atlas of Snow and Ice Reserves of the World have analyzed extensive information on snow and ice phenomena on our planet, collected during the last 25 years.

- 61 Nesls K.N.**
A LIGHTNING SQUID

- 67 Smilga V.P.**
TEN STORIES ABOUT MATHEMATICIANS AND PHYSICISTS (WITH THE AUTHOR'S COMMENTS)
(Concluded)

- 78 Ivanov V.I.**
HUMAN GENOME IN THE SERVICE
OF MEDICINE

Successful molecular diagnostic testing of hereditary diseases is one of the most important achievements of Russia's Human Genome Program, which is now in its tenth year.

- 86 Zharkov V.N.**
FROM PHYSICS OF THE EARTH
TO COMPARATIVE PLANETOLOGY

Without data on other solar planets, it is impossible to make inferences as to how the Earth originated and evolved during its first 600 million years.

- 98 Golitsyn G.S. and Izrael Yu.A.**
M.I. BUDYKO — WINNER OF THE
BLUE PLANET PRIZE

- 102 SCIENCE NEWS (20, 58, 66, 97)**

- 110 BOOK REVIEWS**
Lapo A.V.
GEOLOGICAL HERITAGE OF YAKUTIA

- 111 NEW BOOKS**

- 114 MAIL TO THE EDITORIAL OFFICE**
Ryndina E.Z.
ONE SIDELIGHT. ON L.D. LAN-
DAU'S BIOGRAPHY

- 117 SUBJECT AND AUTHOR INDEXES
TO PRIRODA 1998**

Мезоскопика и фундаментальные свойства пространства

А.Ф.Андреев



Александр Федорович Андреев, академик, вице-президент РАН, директор Института физических проблем им. П.Л.Капицы, главный редактор журнала "Природа". Среди научных отличий: премия им. Ломоносова АН СССР (1984), Ленинская премия (1986), премия им. Каруса (Германия, 1987), премия им. Саймона (Великобритания, 1995). Научная деятельность - теоретическая физика конденсированных тел, физика низких температур.

Я РАССКАЖУ о своих работах последних лет¹, посвященных исследованию сверхпроводимости в необычных условиях, которые ассоциируются с термином «мезоскопика». Смысл этого термина заключается в том, что системы многих частиц в условиях, о которых пойдет речь, в отношении своих свойств занимают промежуточное положение между микроскопическими (системами небольшого числа элементарных частиц) и макроскопическими.

Сразу отмечу, что система многих частиц, будучи макроскопической при не слишком низких температурах, становится мезоскопической при достаточно сильном охлаждении, причем для изучения этих новых свойств необходимо также добиться достаточно высокой точности измерений. Чем больше частиц в системе (и больше ее объем), тем ниже необходимая температура и выше необходимая точность измерений.

Сверхпроводимость — типичное макроскопическое квантовое явление. Оно невозможно в микроскопике. Мы увидим, что это явление возможно в мезоскопике, причем интересно, что здесь оно предстает в своем простейшем, можно сказать, примитивном виде. Особенно интересно и неожиданно, что мезоскопическая сверхпроводимость тесно связана с проблемами, касающимися фундаментальных свойств свободного пространства-времени.

В 70-х годах в квантовой теории поля стала утверждаться концепция суперпространства — наряду с обычными пространственно-временными координатами x, y, z, t были введены дополнительные — Θ_α , превращающие

© А.Ф.Андреев

¹ Андреев А.Ф. // Успехи физических наук. 1998. Т.168. С.655; Он же // Письма в ЖЭТФ. 1996. Т.63. С.963; 1996. Т.64. С.618; 1998. Т.68. С.638.

обычное пространство в суперпространство. Эта концепция как теоретическая конструкция оказалась очень плодотворной (суперсимметрия, суперструны, супергравитация). Однако до сих пор мы не имеем экспериментального доказательства того, что степени свободы, связанные с дополнительными координатами, действительно существуют.

Основная цель настоящей работы — показать, что мезоскопика дает нам такую возможность. В мезоскопике осуществляются условия, в которых благодаря предельно низкой температуре все степени свободы системы, кроме тех, которые соответствуют ее движению по дополнительным координатам, можно считать «вымерзшими». При этом стандартное (нерелятивистское) квантово-механическое описание движения системы по дополнительным координатам представляет собой не что иное, как теорию мезоскопической сверхпроводимости. Изучение сверхпроводящих свойств мезоскопических систем позволяет поэтому получить прямое экспериментальное подтверждение концепции суперпространства. Я бы сказал даже так. Излагаемые ниже соображения уже сами по себе могут служить доказательством реальности суперпространства, поскольку в них выясняется физический смысл дополнительных координат. Последние, как мы увидим, включают в себя спиновые степени свободы и кроме них содержат характеристику «степени фермионности» системы. Концепция суперпространства приводит, таким образом, к обобщению понятия спина.

МЕЗОСКОПИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ

В качестве конкретного, реализуемого на эксперименте примера мезоскопических систем мы будем рассматривать систему электронов в металлических наночастицах при сверхнизких температурах, хотя возможны и другие системы. Например, аналогичные явления должны наблюдаться в системах большого числа нейтральных

ультрахолодных атомов в магнитных ловушках с той лишь разницей, что в них как в нейтральных системах следует говорить о сверхтекучести, а не о сверхпроводимости.

В экспериментах металлическая наночастица отделена от макроскопических металлических электрических вводов туннельными контактами, слабо проницаемыми для электронов. Тем не менее через контакты может протекать электрический ток. Имеется также металлический затвор, отделенный от наночастицы непреодолимым для электронов зазором. Затвор служит источником внешнего электрического поля, действующего на наночастицу: меняя электрический потенциал V затвора, мы изменяем его заряд, что благодаря кулоновскому полю изменяет потенциал наночастицы. В результате изменяется число электронов (заряд) наночастицы вследствие их проникновения через туннельные контакты. В эксперименте определяется зависимость числа электронов в наночастице $N=N(V)$ от потенциала затвора V и вообще изучаются электрические свойства системы *вводы + наночастица* при различных значениях V . Таким способом получают детальную информацию о свойствах отдельной наночастицы, включая полную информацию о ее энергетических уровнях.

Принципиальная разница в поведении наночастицы в условиях, когда она макроскопическая система и когда — мезоскопическая, выявляется при увеличении точности измерений зависимости $N=N(V)$. При не слишком низких температурах наночастица макроскопична, поэтому с возрастанием точности измерений мы обнаруживаем только тепловые флуктуации числа электронов при заданном значении V : кривая $N=N(V)$ имеет конечную неопределенность, «ширину», причем неопределенность числа электронов значительно больше единицы. При достаточно низких температурах, несмотря на то, что число электронов по-прежнему велико, тепловые флуктуации малы и с ростом точности измерений начинает сказываться дискретность ве-

личины N : при непрерывном изменении V число электронов должно изменяться скачками сразу на единицу. В мезоскопической системе зависимость $N=N(V)$ описывается поэтому кривой, состоящей из горизонтальных отрезков, которые соответствуют последовательным целым числам. Набор критических значений потенциала затвора ... V_{c1}, V_{c2}, \dots , при которых происходят скачки N , — важная характеристика данной мезоскопической частицы.

Здесь мы сталкиваемся с характерным общим свойством мезоскопических систем: несмотря на большую величину N , изменение N на единицу дает конечный (измеримый) вклад в наблюдаемые величины. В силу этого общего свойства достаточно ввести в образец один атом примеси или дефект решетки, чтобы значительно изменить набор критических потенциалов. Поэтому две частицы, тождественные в макроскопике, будут существенно отличаться друг от друга в мезоскопической области. По этой же причине кривая $N(V)$ воспроизводима в данном образце лишь до тех пор, пока он находится при низкой температуре. Нагрев наночастицы, достаточный для диффузионного смещения хотя бы одного из атомных ядер, изменит зависимость $N(V)$.

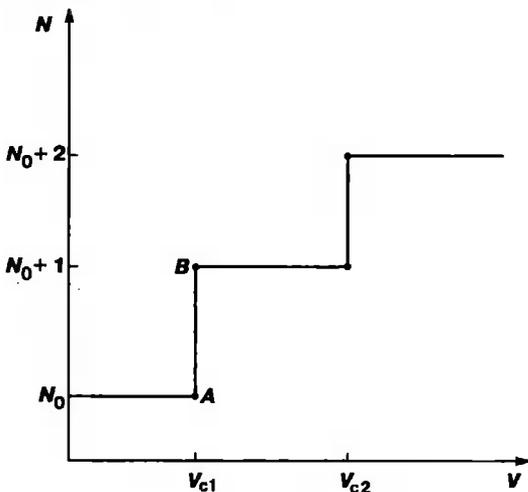
Количественный критерий мезоскопичности, т.е. указание ниже какого



Геометрия экспериментов, в которых обычно изучаются мезоскопические свойства металлических наночастиц.

значения должна быть температура, зависит от характера наблюдаемых величин. Мы рассмотрим здесь самый сильный из возможных критериев (сильная мезоскопика). Будем предполагать, что температура значительно ниже разности $\delta\epsilon$ энергий первого возбужденного и основного состояния наночастицы при заданном N . Такие системы могут быть названы мезоскопическими квантовыми точками (МКТ), поскольку в них, несмотря на большие (по сравнению с межатомными) размеры, степени свободы, связанные с движением образующих их частиц в пространстве, можно считать полностью вымерзшими, и система при заданном N всегда находится в основном состоянии. По порядку величины имеем $\delta\epsilon \sim E_F/N$, где $E_F \sim 10^4$ К — электронная энергия Ферми. Наночас-

Равновесное число электронов N в металлической наночастице в зависимости от значений потенциала затвора V . Горизонтальные участки ступенчатой кривой $N(V)$ представляют фазы наночастицы, в которых энергия системы минимальна. Этим основным состояниям при различных значениях V отвечают различные же числа электронов N . При критических значениях V_{c1}, V_{c2}, \dots происходят скачкообразные изменения состояний. Вертикальным отрезкам типа АВ соответствуют области сосуществования соседних фаз.



тицы с $N \sim 10^4$ становятся мезоскопическими при температурах, много меньших 1К. Фактически эксперимент, схематично показанный выше, с наночастицами алюминия размером порядка 10 нм проводился² при температурах около 50 мК. Соответствующая разность энергий $\delta\epsilon$ порядка 1К.

Скачкообразные изменения состояния МКТ при критических значениях потенциала ... V_{c1} , V_{c2} , ... можно рассматривать как своеобразные фазовые переходы первого рода между фазами, характеризующимися последовательными целыми значениями числа электронов N . Каждая из фаз в определенном интервале значений потенциала соответствует минимуму энергии, т.е. представляет основное состояние в том смысле, что его энергия при этом значении N ниже, чем основные состояния при других N . Например, фаза с $N=N_0+1$ на приведенном выше рисунке отвечает основному состоянию наночастицы в интервале потенциала $V_{c1} < V < V_{c2}$. Как всегда при фазовых переходах первого рода, в самих критических точках $V = V_{c1}$, V_{c2} , ... две соседние фазы имеют одинаковую (и при том минимальную) энергию, и возможно сосуществование фаз. В МКТ в силу их квантовой когерентности сосуществование фаз приобретает весьма специфический характер. Дело в том, что, согласно фундаментальному принципу квантовой механики — принципу суперпозиции — если два различных состояния имеют одинаковую энергию, то ту же энергию будет иметь также и любое состояние, волновая функция которого — линейная комбинация волновых функций исходных двух состояний. Таким образом, при $V = V_{c1}$ допустима бесконечная совокупность основных состояний с волновыми функциями, равными

$$\Psi_c = (1-w)^{1/2} \Psi_{N_0} + w^{1/2} e^{i\phi} \Psi_{N_0+1}, \quad (1)$$

где Ψ_N — волновые функции основных состояний МКТ с заданными числами электронов N , а ϕ и w — произвольные числа ($0 \leq w \leq 1$).

Число электронов в состояниях, описываемых формулой (1), не имеет определенного значения: оно равно N_0+1 с вероятностью w и N_0 — с вероятностью $1-w$. Среднее число электронов \bar{N} равно, таким образом, N_0+w . Произвольный фазовый множитель в выражении для Ψ_c выбран так, чтобы коэффициент при Ψ_{N_0} стал положительным числом, при этом фаза ϕ приобретает уже реальный физический смысл. Если считать, что ордината на рисунке с зависимостью $N(V)$ означает \bar{N} , то состояния вида (1) при различных w заполняют вертикальный отрезок AB , который представляет собой область сосуществования фаз N_0 и N_0+1 .

ЭФФЕКТ ЧЕТНОСТИ И СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ МКТ

В предыдущих рассуждениях мы для простоты не учитывали так называемый эффект четности (ЭЧ). Последний заключается в том, что энергия основного состояния конечной системы электронов с четным $E_c(N)$ и нечетным $E_n(N)$ значениями их числа при экстраполяции $N \rightarrow \infty$, порождает две различные функции, причем $E_n(N) > E_c(N)$. Происхождение ЭЧ связано с принципом Паули и может быть понято на простейшем примере невзаимодействующих электронов, заполняющих дискретные уровни энергии. Поскольку каждый уровень может быть занят максимум двумя электронами (с противоположными спинами), введение (при нуле температуры) в систему каждого следующего четного электрона увеличивает энергию на такую же величину, как и введение предыдущего нечетного. Введение же нечетного электрона увеличивает полную энергию на величину, большую, чем для предыдущего четного. Ясно, что при этом плавная кривая $E_n(N)$, проведенная через нечетные точки, лежит выше

² Ralph D.C., Black C.T., Tinkham M. Phys. Rev. Lett. 1995. V.74. P.3241; 1996. V.76. P.688; 1997. V.78. P.4087.

кривой $E_n(N)$, проведенной через четные. Если ЭЧ относительно невелик и $E_n(N) \approx E_c(N)$, то длины соседних ступеней на кривой $N(V)$ почти одинаковы. С ростом ЭЧ фазы с нечетными N становятся энергетически менее выгодными, чем фазы с четными N , что приводит к сокращению областей, в которых основные состояния — нечетные фазы (за счет расширения фаз с четными N). Если N_0 четно (см. рисунок $N(V)$), то при увеличении ЭЧ критическое значение V_{c1} должно возрастать, а V_{c2} — убывать. Период в появлении скачков N удваивается, причем теперь будут иметь почти одинаковую длину ступени, следующие через одну.

При некоторой определенной величине ЭЧ критические потенциалы V_{c1} и V_{c2} совпадут, и при $V=V_{c1}=V_{c2}$ все три фазы N_0 , N_0+1 и N_0+2 будут иметь одинаковую (минимальную) энергию (тройная точка). Сосуществование трех фаз описывается волновой функцией

$$\Psi_c = (1 - w_1 - w_2)^{1/2} \Psi_{N_0} + w_1^{1/2} e^{i\phi_1} \Psi_{N_0+1} + w_2^{1/2} e^{i\phi_2} \Psi_{N_0+2}, \quad (2)$$

где w_1 , w_2 — соответствующие вероятности, а ϕ_1 и ϕ_2 — некоторые фазы.

При еще большем ЭЧ фазы с нечетными N ни при каких V не будут соответствовать основному состоянию. На ломаной $N(V)$ останутся горизонтальные участки с последовательными четными N . При критических значениях потенциала чиоло электронов будет скачкообразно изменяться на два. Соответствующие вертикальные отрезки в такой ситуации будут представлять области сосуществования четных фаз N_0 и N_0+2 , описываемые волновыми функциями вида

$$\Psi_c = (1 - w)^{1/2} \Psi_{N_0} + w^{1/2} e^{i\phi} \Psi_{N_0+2}. \quad (3)$$

Положим $N=N_0+n$, где N_0 пробегает все четные значения и $0 \leq n \leq 2$. Поскольку $N_0 \gg 1$, мы можем считать, что система характеризуется квазинепрерывным параметром N_0 и при каждом N_0 имеет три состояния с $n = 0, 1, 2$,

причем состояния $\{N_0, n=2\}$ и $\{N_0+2, n=0\}$ — тождественны. В приведенных выше рассуждениях об изменениях в характере сосуществования фаз в качестве изменяющегося параметра, от которого зависят свойства системы, вместо величины эффекта четности можно использовать N_0 . Тройная точка соответствует $V=V_c$ и $N_0=N_{0c}$, причем эти критические значения определяют двумя уравнениями

$$E_0(V_c, N_{0c}) = E_1(V_c, N_{0c}) = E_2(V_c, N_{0c}),$$

где E_0 , E_1 , E_2 — энергии при $n = 0, 1, 2$. Тройная точка при изменении N_0 фактически наблюдалась экспериментально³. Вблизи нее, т.е. при $V \approx V_c$ и $N_0 \approx N_{0c}$ энергии всех трех фаз близки между собой.

Покажем, что области сосуществования фаз — в то же время и области сверхпроводимости МКТ. (Во избежание недоразумений сразу же подчеркнем, что речь идет о сверхпроводимости с критической температурой T_c , удовлетворяющей, как и сама температура, условию мезоскопичности $T_c, T \ll \delta c$. Обычная сверхпроводимость, возникающая при высоких температурах, останется, естественно, таковой при охлаждении до мезоскопических температур.) Ключевой момент здесь — критерий сверхпроводимости МКТ. Дело в том, что в МКТ в силу того, что они «точки», невозможны такие характерные для макроскопии проявления сверхпроводимости, как незатухающие токи, эффект Мейснера, дальний порядок. Мы будем использовать определение, основанное на симметрии системы. Со времени работ Ландау (1937), а также Гинзбурга и Ландау (1950) известно, что наиболее фундаментальное свойство любого упорядочения, в том числе сверхпроводящего, — изменение симметрии системы. В случае сверхпроводников речь должна идти о симметрии относительно калибровочных преобразований. Это та симметрия, в силу которой

³ Tuominen M.T., Hergenrother J.M., Tighe T.S. et al. Phys. Rev. Lett. 1992. V.69. P.1997.

сохраняется число электронов. Калибровочные преобразования суть линейные преобразования волновых функций, при которых Ψ_N преобразуется в $e^{i\phi} \Psi_N$, где ϕ — произвольное вещественное число, параметр преобразования.

Связь калибровочных преобразований с сохранением числа электронов можно пояснить аналогией с сохранением энергии, которое имеет место в силу симметрии относительно трансляций по времени $t \rightarrow t - \tau$, где τ — параметр преобразования. Волновые функции Ψ_ω состояний с определенной энергией $E = \hbar\omega$ преобразуются при трансляциях в $e^{i\omega\tau} \Psi_\omega$, поскольку Ψ_ω пропорционально $e^{-i\omega t}$.

По определению, состояние МКТ сверхпроводящее, если оно физически изменяется при калибровочных преобразованиях, и нормальное — если не меняется. Так как умножение волновой функции на фазовый множитель $e^{i\phi}$ не изменяет физического состояния, все состояния Ψ_N с целыми N — нормальны.

Состояния, соответствующие существованию фаз типа (1), (2) и (3), при калибровочных преобразованиях (дополненных умножением Ψ_c на общий фазовый множитель $e^{i\phi}$, необходимым, чтобы коэффициент при Ψ_N , согласно принятой выше конвенции стал положительным числом) физически меняются. Они переходят в состояния того же типа, но с измененными «физическими» фазами. Фаза ϕ в формуле (1) и фаза ϕ_1 в формуле (2) преобразуются по закону $\phi \rightarrow \phi + \phi$. А фаза ϕ в формуле (3) и фаза ϕ_2 в (2) — по закону $\phi \rightarrow \phi + 2\phi$. Все эти состояния оказываются, таким образом, сверхпроводящими. Итак, в МКТ возможны три типа сверхпроводимости: с «одиночной» фазой (1), с «парной» фазой (3) и с двумя фазами (2). Состояния с парной фазой по своей симметрии подобны обычным сверхпроводящим с куперовскими парами электронов. Можно сказать, что состояния (3) — это мезоскопическая версия обычной сверхпроводимости.

Согласно нашему определению, в сверхпроводящем состоянии МКТ характеризуются некоторой физической фазой. Этого достаточно, чтобы между МКТ и обычными сверхпроводниками, а также и между различными МКТ, соединенными туннельными контактами, был возможен эффект Джозефсона — протекание незатухающего электрического тока. Это оправдывает наше определение.

В формулах (1) и (2) мы не учли еще явным образом спин электронов. Дело в том, что при $n=1$ (где $n=N-N_0$) МКТ как система нечетного числа электронов имеет ненулевой суммарный спин. В простейшем случае он равен $1/2$, но в принципе может быть также равен $3/2$, $5/2$, и т.д. Для спина $1/2$ под Ψ_n с $n=1$ мы фактически должны понимать два состояния $\Psi_{1\alpha}$, где второй индекс $\alpha = 1, 2$ нумерует состояния с проекцией суммарного спина $+1/2$ и $-1/2$. Чтобы явно учесть спин, мы должны записать формулу (2) в виде

$$\Psi_c = w_0^{1/2} \Psi_0 + w_{11}^{1/2} e^{i\phi_{11}} \Psi_{11} + w_{12}^{1/2} e^{i\phi_e} \Psi_{12} + w_2^{1/2} e^{i\phi_2} \Psi_2, \quad (4)$$

где коэффициенты связаны соотношением $w_0 + w_{11} + w_{12} + w_2 = 1$.

Вблизи тройной точки не три, а фактически четыре состояния Ψ_0 , Ψ_{11} , Ψ_{12} и Ψ_2 имеют близкие энергии E_0 , E_{11} , E_{12} , и E_2 , причем в отсутствие магнитного поля энергия не зависит от направления спина: $E_{11} = E_{12}$. Формула (4) определяет в действительности сверхпроводимость МКТ наиболее общего вида. Если энергию E_2 , состояния Ψ_2 устремить к бесконечности, то соответствующая вероятность w_2 будет стремиться к нулю, и мы получим состояние (1). При $E_{11} = E_{12} \rightarrow \infty$ имеем $w_{11} = w_{12} \rightarrow 0$ и из (4) получается (3).

НЕОБХОДИМОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КООРДИНАТ

Сверхпроводящие состояния с одиночными фазами обладают поразительными

тельным свойством — они физически изменяются при поворотах $O(2\pi)$ системы координат в пространстве на угол 2π вокруг любой оси. Дело в том, что волновая функция одного электрона (и вообще фермиона) — спинор, т.е. величина, приобретающая множитель (-1) при $O(2\pi)$. Отсюда следует, что волновые функции Ψ_n нормальных состояний МКТ не меняются при четных $n = 0, 2$ и меняют знак при $n = 1$. Сами нормальные состояния в обоих случаях физически не меняются, поскольку изменение знака есть частный случай умножения на фазовый множитель. Сверхпроводящие же состояния физически меняются, поскольку их волновые функции (4) — линейные комбинации, содержащие как четные, так и нечетные n . Точно то же самое происходит, если вместо поворота $O(2\pi)$ пространственной системы координат два раза последовательно изменить знак времени (двойное обращение времени R^2). Эти свойства связывают проблему мезоскопической сверхпроводимости с фундаментальными свойствами пространства-времени.

Действительно, $O(2\pi)$ так же, как и R^2 , в обычном пространстве-времени есть не что иное, как просто тождественное преобразование. Ничто не может физически измениться, если мы ничего не преобразуем.

До тех пор, пока старая квантовая механика имела дело лишь с системами, содержащими определенное число частиц, все состояния которых, как мы видели, физически инвариантны относительно $O(2\pi)$ и R^2 , трудностей со спинорами не возникало. Но они возникли в квантовой теории поля, в которой число частиц, вообще говоря, неопределенно. В 1952 г. Г.Уик, А.Уайтман и Е.Вигнер, обратив внимание на то, что линейные комбинации волновых функций с четными и нечетными числами фермионов физически меняются при преобразованиях $O(2\pi)$ и R^2 , предложили ограничить принцип суперпозиции. Они ввели правила

«сверхотбора», согласно которым принцип суперпозиции действует отдельно для состояний только с четными и только с нечетными числами фермионов. Линейные комбинации четных и нечетных состояний невозможны. Идея сверхотбора не получила развития. В настоящее время она отвергнута, поскольку ограничивает фундаментальнейший общий принцип.

Спиноры плохо вписываются и в общую теорию относительности, основанную на четырех пространственно-временных координатах. Использование спиноров требует введения дополнительных геометрических конструкций, что по существу ограничивает сам принцип общей относительности.

Единственный выход из положения — введение дополнительных физических характеристик (координат) пространства. Дополнительные координаты должны меняться при $O(2\pi)$ и R^2 . В результате эти преобразования перестают быть тождественными и трудности преодолеваются. Дополнительные координаты, следовательно, должны быть спинорами. Обозначим их Θ_α , где $\alpha = 1, 2$ есть тот же спинорный индекс, которым выше мы нумеровали проекции спина $+1/2$ и $-1/2$.

Если считать координаты Θ_1, Θ_2 обычными числами, то это означало бы увеличение размерности пространства, что повлекло бы значительные трудности с физической интерпретацией. Попробуем в качестве Θ_α взять упоминавшиеся во введении дополнительные координаты суперпространства. Они обладают необходимым для нас свойством: при переходе к нерелятивистскому пределу они как раз двухкомпонентные спиноры. Подчеркнем, что дополнительные координаты были введены в квантовую теорию поля на основе совершенно других соображений, не связанных с преобразованиями $O(2\pi)$ и R^2 .

Координаты Θ_α суперпространства — весьма необычные объекты. Они образуют так называемую грассманову алгебру, предложенную немецким математиком Г.Грассманом примерно 100

лет назад. Необычны правила умножения величин Θ_α :

$$\Theta_1^2 = 0, \Theta_2^2 = 0, \Theta_1\Theta_2 = -\Theta_2\Theta_1. \quad (5)$$

Их можно реализовать, рассматривая в качестве Θ_1 и Θ_2 некоторые матрицы размером по крайней мере 4×4 .

В грассмановой алгебре определены и другие операции, включая дифференцирование и интегрирование. Интересно, что здесь интегрирование тождественно дифференцированию.

МКТ В СУПЕРПРОСТРАНСТВЕ

Построим квантовую механику МКТ, предполагая, что она движется только по координатам Θ_α . Это подразумевает, что все чисто бозевские степени свободы системы заморожены и, более того, полный спин в состояниях с $n = 0, 2$ равен нулю, а при $n = 1$ он равен $1/2$. (Состояние с $n = 1$ и спином, скажем, $3/2$, означало бы наличие бозевской степени свободы со спином 1.) Это условие мы фактически уже использовали при написании формулы (4).

Волновая функция МКТ $\Psi(\Theta_\alpha)$ зависит от координат Θ_α . Разложим ее в ряд по степеням Θ_α :

$$\Psi(\Theta_1, \Theta_2) = aI + b\Theta_1 + c\Theta_2 + d\Theta_1\Theta_2. \quad (6)$$

Коэффициенты a, b, c, d — некоторые комплексные числа, I — единица грассмановой алгебры. Все остальные члены разложения равны нулю в силу правил (5). Например, $\Theta_1\Theta_2\Theta_1 = -\Theta_1\Theta_1\Theta_2 = 0$.

Определим целое число n как показатель степени величин Θ_α в каждом из четырех одночленов в формуле (6), т.е. $n = 0, 1, 1, 2$ соответственно. отождествим это число с введенным выше числом $n = N - N_0$, а величины $I, \Theta_\alpha, \Theta_1\Theta_2$ — соответственно с $\Psi_0, \Psi_{1\alpha}, \Psi_2$. Последнее отождествление корректно по спину: все отождествляемые величины в силу свойств спиноров имеют

одинаковые спиновые характеристики. Выбирая общий фазовый множитель в функции (6) так же, как это мы делали выше, и используя условие нормировки $|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 = 1$, мы приходим к замечательному выводу: формула (6) тождественна формуле (4), определяющей общий вид волновой функции МКТ в сверхпроводящем состоянии. Степени свободы МКТ, находящейся вблизи тройной точки, связаны, таким образом, с ее движением по дополнительным координатам суперпространства. На основе представления (6) возможно универсальное (т.е. не зависящее от конкретной внутренней структуры системы) описание МКТ вблизи критических значений потенциала затвора точно так же, как с помощью спиновых матриц Паули возможно универсальное описание спина $1/2$. Мы получили обобщение понятия спина: при $a \rightarrow 0$ и $d \rightarrow 0$, т.е. при $n = 1$ описание с помощью (6) эквивалентно обычному описанию МКТ с суммарным спином $1/2$ с помощью матриц Паули. Изложенный общий подход может быть использован для получения универсального описания также и поведения МКТ в различных внешних полях⁴, исследуя которое экспериментально, можно изучать геометрию суперпространства.

В заключение хотел бы отметить следующее. Возможный прогресс в изучении свойств пространства-времени традиционно связывается с физикой высоких энергий и ее современными ускорителями, а также с астрофизикой и космологией. Оказывается, что этой же цели может служить и физика низких температур с ее уникальными возможностями повышения точности физических измерений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки России, Российского фонда фундаментальных исследований (грант 96-02-16348) и программы INTAS (грант 96-610).

⁴ Андреев А.Ф. // Письма в ЖЭТФ. 1998. Т.68. С.638.

Стратегии эволюции и кислород

В. П. Скулачев

*Так некогда в разросшихся хвощах
Ревела от сознания бессилья
Тварь скользкая, почуяв на плечах
Еще не появившиеся крылья.*

Н.Гумилев



Владимир Петрович Скулачев, академик РАН, директор Научно-исследовательского института физико-химической биологии МГУ. Научные интересы связаны с энергетикой живой клетки.

ИСПОКОН веков людей волновал вопрос, как возникли живой мир и они сами. Кажущаяся непостижимость происхождения организмов во всей их сложности и совершенстве неизменно толкала человечество к религии. Действительно, как можно, не прибегая к Создателю, объяснить появление живых существ во всем их необычайном разнообразии? Случайные блуждания в «трехмерном пространстве» почти бесконечного количества возможных вариантов конечно же не в состоянии объяснить, почему мы оказались в данный момент в данной точке эволюционного пути.

Дарвин, введя понятие естественного отбора, ограничил рамки этих блужданий, как бы переведя поиск из трехмерного пространства в плоскость. Но и после Дарвина остались большие проблемы. Естественный отбор хорош для количественного совершенствования частных признаков живых существ. Легко представить себе, как отбор случайных мутаций позволил оптимизировать длину и форму передней конечности двуногого ящера, которая использовалась для хватания. Но как из этой конечности получилось крыло археоптерикса? Ведь здесь потребовалось возникновение и закрепление в потомстве десятков (если не сотен) новых признаков, и каждый из них не только не давал особи каких-либо преимуществ в борьбе за существование, но фактически не мог не ухудшать выполнения прежней функции конечности, уже оптимизированной для хватания естественным отбором.

Блуждание по плоскости вряд ли может решить вопрос. Необходимо прочертить на ней бороздку, попав в которую, шарик с неизбежностью прикатится в нужную точку. Требуется сократить еще одно измерение и от двумерного пространства перейти к одномерному.

В этой статье предпринята попытка объяснить, каким образом можно было бы преодолеть ограничение, налагаемое естественным отбором при возникновении качественно новых сложных функций живых систем.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР МОГ БЫ СТАТЬ ТОРМОЗОМ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОГРЕССА

Прогрессивная эволюция посредством естественного отбора в современном понимании должна включать в простейшем случае следующую цепь событий:

— случайное появление мутации или какого-либо другого изменения в том или ином гене;

— изменение той биологической функции, которая зависит от данного гена;

— закрепление изменения, если оно дает преимущества в борьбе за существование, как результат победы мутанта в конкуренции с особями, не имеющими полезной мутации (выживание наиболее приспособленных).

Подобная схема вполне пригодна для тех случаев, когда речь идет о мутации, которая приносит немедленную выгоду. Однако она не работает, если полезные свойства возникают только за счет последующих мутаций в данном или других генах. И уже совсем плохо, если мутация в первых поколениях вредит мутантам, а польза может произойти лишь в отдаленном будущем — когда появится большое число новых мутаций. В последнем случае естественный отбор должен препятствовать, а не способствовать, прогрессу.

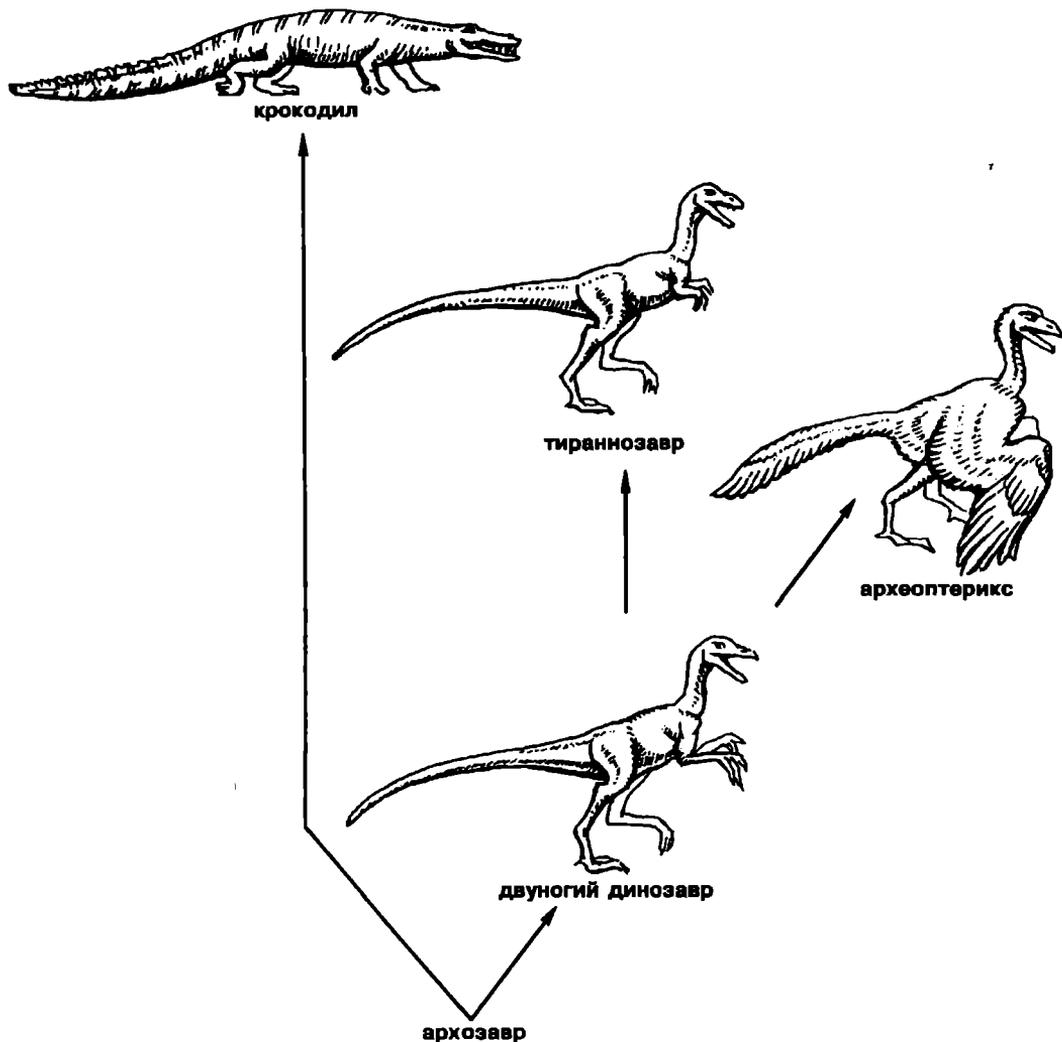
Во введении уже упоминалось, что превращение передней лапы ящера в крыло требует множества отдельных мутаций, которые никак не

могут произойти одновременно. Если бы передняя конечность постепенно видоизменялась в крыло, это неизбежно привело бы к кардинальному ухудшению «хватательной» функции, причем еще до того, как завершилось формирование функции «летательной». Сквозь сито естественного отбора не прошли бы промежуточные формы, передние конечности которых уже не могли использоваться в прежних целях, но еще совсем не были приспособлены к полету. Каким же образом вывести промежуточные формы эволюции из-под давления естественного отбора?

Можно, конечно, предположить, что динозавр имел возможность пожертвовать старой (хватательной) функцией, которая в силу изменившихся условий стала менее важной, чем быстрота бѣга. Такой пример как будто бы являют собой тираннозавры с их совсем маленькими передними конечностями. Размахивая зачатками крыльев, предшественник археоптерикса мог бы прибавить в скорости, еще не научившись летать. Однако, чтобы оставаться в рамках концепции естественного отбора, нам пришлось бы признать, что каждый следующий шаг в формировании крыла непременно улучшал бѣговые качества динозавра. Такую стратегию по принципу «Ни шагу назад!» вряд ли можно назвать гибкой и универсальной, коль речь зашла о столь сложной задаче, как покорение воздушного океана. Появление любого нового качества было бы крайне затруднено, если бы каждое из предшествующих ему количественных изменений непременно давало организму какие-то сиюминутные выгоды. Легко представить себе, как ускорился бы эволюционный процесс при условии, что существуют специальные механизмы эволюции, которые защищают промежуточные формы от давления естественного отбора.

Г- И К-СТРАТЕГИИ

В 1967 г. Р.Макартур и Е.Уилсон, анализируя динамику численности по-



Эволюция пресмыкающихся. Древний четвероногий ящер архозавр дал начало и современным крокодилам, и двуногим динозаврам. Эволюция последних привела к появлению бегающих тираннозавров с рудиментарными «руками» и летающих археоптериксов.

пуляций, предложили r- и K-коэффициенты¹. Мы не будем рассматривать их математический смысл, а используем эти коэффициенты для обозначения двух стратегий эволюционного развития живых существ. r-Стратегия предполагает бурное размножение и короткую продолжительность жизни особей, а K-стратегия — низкий темп размножения и долгую жизнь. В соответствии

с r-стратегией популяция развивается на переломных этапах своей истории, при изменении внешней среды, что способствует появлению новых признаков и захвату новых ареалов. K-стратегия характерна для благоденствия популяции в уже захваченном ареале и при сравнительно стабильных условиях. Очевидно, что у популяции вероятность новаций будет тем выше, чем она быстрее размножается и чем чаще происходит смена поколений, т.е. короче продолжительность жизни осо-

¹ MacArthur R.H., Wilson E.O. The theory of island biogeography. Princeton, 1967.

бей. Чтобы решить проблему переходных форм, г-стратегии недостаточно, желательно дополнить ее еще одним свойством, а именно повышенной жизнеспособностью, или лучшими качествами в борьбе за существование, на коротком (в сравнении с К-стратегией) временном промежутке, отведенном природой для жизни особи. Это в общем-то логично: за повышение жизнеспособности, как и за плодовитость, приходится платить, а плата эта — сокращение продолжительности жизни.

Если жизнеспособность особей при г-стратегии повышена, это могло бы компенсировать отмеченные недостатки промежуточных форм, связанные с формированием новой функции. В результате они выстояли бы в борьбе за существование.

Приняв, что способность к переключению г- и К-стратегий есть один из механизмов биологической эволюции, мы приходим к вопросу: а как именно оно устроено?

Чтобы остаться в пределах представлений об эволюции как закреплении случайно возникших новых признаков путем естественного отбора, нужно принять также, что и переключение стратегий происходит без всякой закономерности, а выживают те, кто выбрал стратегию, более соответствующую данным условиям среды. В простейшем случае должен существовать какой-то один ген или координированная группа генов, режим работы которых и определяет выбор стратегии.

ОТКРЫТИЕ ЭНТОНИ МУРА:
К→г ПЕРЕХОД?

Летом 1998 г. англичанин Энтони Мур сделал сенсационное сообщение на 10-й Европейской биоэнергетической конференции в Гетеборге². Первоначально имя Мура отсутствовало в списке докладчиков, но ему была предоставлена возможность выступить с внеочередным докладом ввиду очевидной неординарности результатов проделанной работы.

Автор получил трансгенное растение табака с повышенной активностью (экспрессией) гена, который кодирует митохондриальную разновидность так называемого белка теплового шока с молекулярной массой 70 кД (mitochondrial Heat shock protein 70, mHsp70). В результате суперэкспрессии количества mHsp70 увеличилось в 30 раз.

Вмешательство в геном имело поразительные последствия. Трансгенный табак оказался вдвое выше нормально (растения культивировали в оптимальных для роста условиях), втрое увеличилась его биомасса и скорость дыхания митохондрий. Несколько возросла интенсивность фотосинтеза, хотя этот эффект был куда более скромным, чем упомянутые изменения. Голландская исследовательница Аннеке Вагнер, посетившая оранжерею Мура в Брайтоне, сказала мне, что на первый взгляд трансгенный табак Мура внешне производит впечатление растения какого-то другого вида.

Что же такое mHsp70 и каковы его функции?

Белки теплового шока, к которым относится и mHsp70, известны прежде всего как «ремонтники». Они «исправляют» другие белки, если те приняли неправильную форму или, как говорят биохимики, денатурированную конформацию. Любой белок — длинный полимер, состоящий из сотен, а иногда и тысяч мономеров (аминокислот), соединенных между собой пептидными связями в единую полипептидную цепь. В рабочем состоянии она свернута вполне определенным образом. При биосинтезе в рибосомах полипептидная цепь образуется в развернутом виде. Ее последующее сворачивание — непрерывная стадия образования зрелого, активного белка. Помогают цепи правильно свернуться именно белки теплового шока, которые называют также шаперонами.

Однако приобретенная правильная форма может утратиться под воздействием тех или иных неблагоприятных условий. Типичный пример — денатурация белков при нагревании. Их ренатурацию, восстановление, ведут все те же

² Moore A. Report at 10 EBEC. Göteborg, 1998.

белки теплового шока, количество которых возрастает в ответ на нагревание.

У растений разновидности таких белков имеются в цитозоле, хлоропластах (где осуществляется фотосинтез) и митохондриях (органеллах, ответственных за внутриклеточное дыхание). mHsp70 «прописан» в митохондриях. Помимо участия в созревании 15 типов белков, синтезируемых в этих органеллах, и их ренатурации mHsp70 играет важнейшую роль в импорте митохондриями белков, синтез которых происходит в цитозоле (их подавляющее большинство — около 500). Роль эта двоякая. Белки импортируются в развернутом виде: как только передняя часть полипептидной цепи показывается внутри митохондрии, она связывается с mHsp70, что по некоей еще не совсем ясной причине ускоряет затягивание оставшегося полипептида. Кроме того, mHsp70 участвует в правильном сворачивании развернутой полипептидной цепи.

Помимо перечисленных функций (правильное сворачивание вновь синтезируемых и импортируемых белков, ускорение белкового импорта и восстановление правильной конформации белков митондрий) за mHsp70 замечено еще одно свойство, роль которого остается загадочной и поныне: он связывает каталитическую субъединицу митохондриальной эндонуклеазы с массой 50 кД — фермента, расщепляющего ДНК митондрий в строго определенных участках.

Пока трудно сказать, какое из свойств mHsp70 служит причиной удивительных изменений в фенотипе трансгенного табака. Однако простейшим представляется следующий вариант:

— резкое увеличение количества mHsp70 ускоряет импорт цитозольных белков и созревание митохондриальных, в том числе ферментов дыхания и дыхательного фосфорилирования, ответственных за синтез аденозинтрифосфата (АТФ) — универсальной энергетической валюты клетки³. (По дан-

ым Мура, скорость импорта белков митохондриями оказалась у трансгенного табака в 3.5 раза выше, чем в норме.);

— ускорение дыхания дает дополнительные количества АТФ, т.е. улучшает энергообеспечение клеток табака;

— улучшенное энергообеспечение стимулирует рост растения.

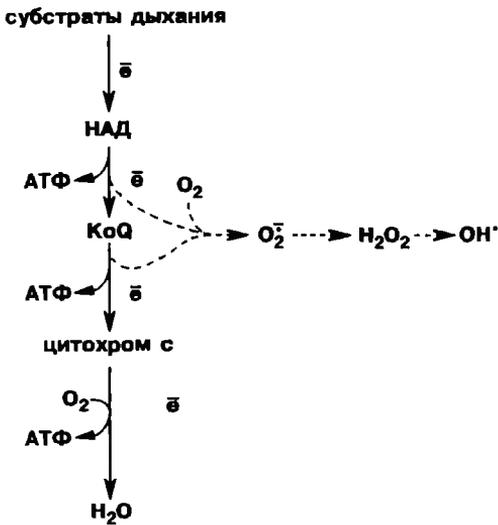
Согласившись с такой логикой событий, мы приходим к вопросу: почему в норме уровень mHsp70 столь низок, что лимитирует работу митондрий? Не потому ли, что максимальная активность систем митохондриального дыхания имеет опасный побочный эффект? Известно, что около 98% кислорода, потребляемого митохондриями при дыхании, превращается в воду, в то время как оставшиеся 2% дают супероксид (O_2^*) за счет паразитных химических реакций, происходящих в начале и середине дыхательной цепи. Из супероксида затем образуются перекись водорода (H_2O_2) и гидроксил-радикал (OH^*) — сильнейший окислитель, который разрушает любые вещества живой клетки⁴. Увеличение потока электронов по дыхательной цепи от субстратов дыхания к кислороду неизбежно влечет за собой повышение продукции супероксида, а стало быть, и OH^* . По одной из наиболее популярных в настоящее время гипотез старения организма именно с образованием активных форм кислорода (АФК), таких как OH^* , связан этот процесс⁵. Выходит, возрастание уровня mHsp70, вызывающая улучшение энергообеспечения и, как следствие, стимуляцию роста, в то же время может сокращать продолжительность жизни особи из-за повышения продукции ядовитых производных O_2 .

Можно представить себе и более сложные сценарии развития событий в

³ Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. М., 1989.

⁴ Об этом подробнее см.: Скулачев В.П. Кислород в живой клетке: добро и зло // Природа. 1997. № 11. С.26—35.

⁵ Ozawa T. // Biosci. Rep. 1997. V.17. P.237—250; Скулачев В.П. Молекуляр. биология. 1995. Т.29. С.1199—1209; Он же // Биохимия. 1997. Т.62. С.1394—1399.



Пути переноса электронов в дыхательных цепях митохондрий. Большинство электронов, «отнятых» от субстратов дыхания, переносится через никотинамидадениндинуклеотид (НАД), коэнзим Q (КоQ) и цитохром с на кислород с образованием воды (сплошные стрелки). Однако некоторое количество электронов (обычно не более 2%) забирается кислородом с начальных и средних участков цепи, причем продуктом реакции оказывается супероксид (O_2^-), дающий затем перекись водорода (H_2O_2) и сильнейший химический окислитель — радикал OH^{\cdot} (пунктирные стрелки).

организме — суперпродуcente mHsp70. Но их следствие — тот же противоречивый эффект: ускорение роста и увеличение жизнеспособности при одновременном сокращении продолжительности жизни. Ключевую роль здесь могло бы сыграть, например, взаимодействие mHsp70 и митохондриальной эндонуклеазы.

В любом случае суперпродукция mHsp70 выглядит как молекулярный механизм переключения живой системы с K-стратегии на г-стратегию. В пределах определенного времени это безусловно должно давать организму некие преимущества, расплатой за которые становится сокращение продолжительности жизни.

Ситуация напоминает известную историю начала второй мировой войны. Наш знаменитый конструктор

самолетов А.С.Яковлев предложил резко упростить конструкцию моторов истребителей, что ускорило их производство, но ограничило эксплуатацию всего несколькими десятками часов. Это позволило произвести в короткие сроки большое количество истребителей и быстро добиться решающего преимущества над люфтваффе. В то же самое время англичане продолжали изготавливать моторы своих истребителей на фирме «Роллс-Ройс», дававшей гарантию на 1200 часов полета, и получили трагедию Ковентри.

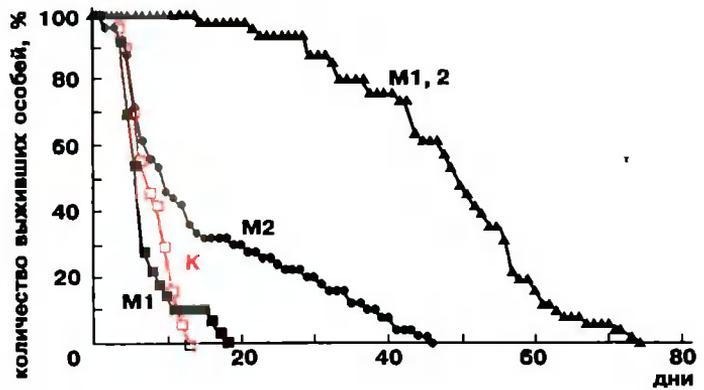
Решение Яковлева определялось простым соображением: в условиях той войны истребитель жил в воздухе в среднем около 10 часов...

Ясно, что идея Яковлева — типичный пример г-стратегии. Очевидно, что она спасительна в критический период войны, но становится непригодной с наступлением мира.

Возвратимся, однако, к опытам Мура. Хотелось бы думать, что автору посчастливилось нажать на «кнопку стратегического назначения» и вызвать K→г переход. Существенно, что эффект Мура оказался присущим именно mHsp70. Суперпродукция других, немитохондриальных, белков теплового шока, например одного из белков среднего участка дыхательной цепи, тоже влияла на рост растения, но не приводила к столь драматическим последствиям, как в случае mHsp70. Как недавно сообщил мне в письме Мур, эффект, подобный описанному на табаке, уже воспроизведен им на трансгенных мышах — суперпродуцентах mHsp70.

Последнее обстоятельство повышает вероятность того, что автор столкнулся с закономерностью общебиологического значения. Ясно также, что вызванные эффекты обусловлены внутриклеточными (точнее даже внутримитохондриальными) явлениями, а не надклеточной (гормональной) регуляцией, такой как гигантизм под действием гормонов роста. Эти гормоны совершенно различны у растений и животных и не имеют никакого отношения к митохондриям и дыхательным ферментам.

Увеличение продолжительности жизни нематоды за счет мутаций (M1, M2, M1, 2) в ее геноме в сравнении с контрольными (К) червями (Лаковский Б., Хекими С., 1996).



ЧЕРВЯЧОК-ДОЛГОЖИТЕЛЬ: Г→К ПЕРЕХОД?

Теперь речь пойдет о сравнительно простом объекте — черве нематоды *Caenorhabditis elegans*. Его организм состоит всего из 945 клеток, возникновение и судьба каждой из них уже прослежена эмбриологами. Оказалось, что в геноме червя есть несколько генов, мутации по которым увеличивают продолжительность его жизни. По данным канадского биолога С.Хекими, одновременное выключение двух из этих генов продлевает более чем в пять раз жизнь организма⁶. При этом увеличивается продолжительность стадий как личинки, так и взрослого червя; уменьшаются плодовитость, подвижность, потребление животным пищи и возрастает устойчивость к повреждающему действию повышенной температуры среды, перекиси водорода и условий, стимулирующих образование супероксида (таких, как обработка ультрафиолетовым светом, метилвиологеном или кислородом в высокой концентрации). В 1997 г. тот же автор обнаружил у человека ген, весьма близкий к одному из двух упомянутых генов нематоды. Подобный ген был

также найден у дрожжей. Сейчас кое-что уже известно о функции кодируемого им белка: он играет важную роль в переключении с бескислородного (анаэробного) метаболизма дрожжевых клеток на кислородный (аэробный). В частности, этот белок необходим для включения работы гена, кодирующего один из ферментов углеводного синтеза. И, что особенно важно в нашем случае, — для синтеза кофермента Q (КоQ), семихинонная форма которого служит прекрасным восстановителем кислорода в супероксид. Опытами других исследователей показано, что мутация в гене фермента, синтезирующего КоQ, резко снижает токсичность высоких концентраций кислорода для дрожжевых клеток⁷.

Ранее гены, которые сокращают продолжительность жизни (хотя и не так сильно, как у червя) и одновременно увеличивают чувствительность организма и клеток к действию окислителей, температуры и голодания, были описаны у дрозофилы и дрожжей. Ш.Мураками и Т.Э.Джонсон предложили назвать такие гены геронтогенами⁸.

⁶ Lakowski B., Hekimi S. // Science. 1996. V.272. P.1010—1013.

⁷ Ewbank J.J., Barnes T.M., Lakowski B., Lussler M., Bussey H., Hekimi S. // Science. 1997. V.275. P.980—983.

⁸ Murakami S., Johnson T.E. // Genetics. 1996. V.143. P.1207—1218.

Но вернемся к опытам на нематоде. Двойной мутант Хекими, как можно заметить, демонстрирует черты, противоположные тем, что были обнаружены Муром на его трансгенном табаке: нематода медленнее растет, ее метаболизм заторможен (прежде всего, видимо, митохондриальное дыхание, если учесть вероятное прекращение биосинтеза КоQ, ключевого компонента дыхательной цепи). Иными словами, нематоду удалось искусственно сдвинуть в сторону К-стратегии (Хекими), в то время как табак, а вслед за ним и мышь — в сторону г-стратегии (Мур).

ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СТРАТЕГИЙ

Остается неясно, каким образом переключение стратегий может происходить в естественных условиях. Заманчиво предположить, что центральную роль играют здесь все те же активные формы кислорода.

Клетки организма постоянно поддерживают такой баланс процессов образования и дезактивации АФК, при котором их концентрация находится на очень низком уровне. Если ухудшаются условия существования организма, его деятельность активизируется, чтобы противостоять ставшей более агрессивной среде. Повышаются энергозатраты, и, стало быть, стимулируется дыхание — главный процесс, поставляющий энергию. Но ведь за счет активации дыхания увеличивается продукция АФК, а их повышенный уровень ускоряет старение и сокращает продолжительность жизни. Так возникают активные, мощные формы живых существ, этакие «сверх-особи», обреченные, однако, на раннюю смерть от рака, вирусных инфекций или, наконец, от старости.

Менее ясна связь между АФК и плодовитостью. Однако уже установлено, что по крайней мере у некоторых типов клеток активные формы кислорода резко увеличивают темп клеточных делений.

Не вызывает сомнений, что АФК — главные мутагены аэробных клеток. Повышенный мутагенез не только

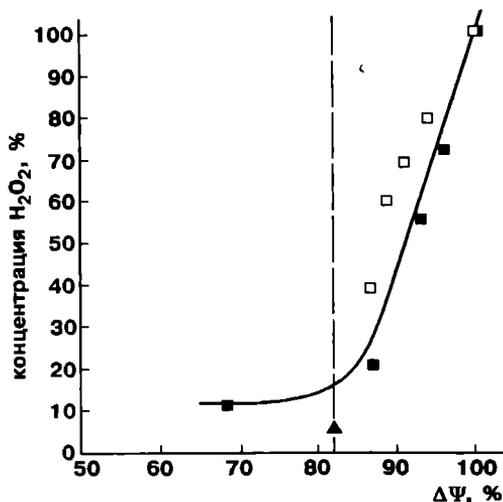
уменьшает продолжительность жизни, но и увеличивает генетическое разнообразие потомства. Некоторые из изменений, возникших в результате атаки молекул ДНК активными формами кислорода, могут оказаться полезными и закрепиться в результате естественного отбора. Тем самым организм приспособится к изменившимся условиям внешней среды, исчезнет его повышенная активность, снизится скорость дыхания, а с нею — и уровень АФК. Последнее приведет к уменьшению темпа размножения и увеличению продолжительности жизни, т.е. произойдет смена г-стратегии на К-стратегию.

Изложенная здесь сравнительно простая («линейная») схема, если она действительно работает, наверняка содержит системы обратных связей, усиливающих сигналы, которые вызывают переключение стратегий. На клеточном уровне это может быть, например, ускоренное укорочение концевых (теломерных) участков ДНК под действием активных форм кислорода, концентрация которых растет при К→г переходе⁹. Это должно сократить число клеточных делений и ускорить старение клетки¹⁰.

Другим примером такого рода усиления сигнала может быть индукция биосинтеза белков теплового шока в ответ на повысившееся количество денатурированных белков. Скорость их денатурации должна возрасти в неблагоприятных условиях как из-за увеличения уровня АФК, так и по другим причинам, а ответный рост концентрации шаперонов приведет к эффекту, описанному Муром.

Интересно, что уменьшение уровня АФК при снижении активности организма, т.е. г→К переходе, имеет свои ограничения. В наших опытах показано, что, если электрический мембранный потенциал — «предшественник» АТФ в систе-

⁹ Zglinicki T. von, Sarecki G., Docke W., Lotze C. // *Exp. Cell Res.* 1995. V.220. P.186–193.
¹⁰ Оловников А.М. // Докл. АН СССР. 1971. Т.201. С.1496–1498; Bodnar A.G., Ouellette M., Frolkis M. et al. // *Science.* 1998. V.279. P.349–352.



Зависимость образования перекиси водорода митохондриями от величины мембранного потенциала ($\Delta\Psi$). Когда мембранный потенциал достигает определенного порога (здесь 85% от максимальной величины), количество H_2O_2 скачкообразно увеличивается. Мембранный потенциал снижали: разобщителем, который стимулирует дыхание благодаря повышению протонной проводимости митохондриальной мембраны (черные квадраты); малонатом, тормозящим поступление электронов в дыхательную цепь (белые квадраты) или аденозиндифосфатом, стимулирующим дыхание посредством включения механизма синтеза АТФ (черный треугольник). (Коршунов С.С. и др., 1997.)

ме производства полезной энергии митохондриями — достигнет некоего критического уровня, скорость генерации активных форм кислорода дыхательной цепью резко возрастает¹¹. Этот пороговый уровень может быть превзойден в состоянии полного покоя, когда расход АТФ минимален и скорость дыхания лимитируется доступностью аденозиндифосфата (АДФ) — продукта распада АТФ при работе. Иначе говоря, бездельно вредно для здоровья, поскольку чревато накоплением ядовитых производных кислорода.

¹¹ Korshunov S.S., Skulachev V.P., Starkov A.A. // FEBS Lett. 1997. V.416. P.15—18; Skulachev V.P. // Biochim. Biophys. Acta. 1998. V.1363. P.100—124.

ЧЕЛОВЕК И МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИИ

Мы рассмотрели пример возможного механизма, который способен ускорить биологическую эволюцию. Он заключается в смене популяцией стратегии жизни: в ответ на ухудшение условий появляются более мощные, активнее дышащие и размножающиеся особи с укороченным сроком жизни (г-стратегия). Выживание в процессе отбора более приспособленных организмов снижает их активность, скорость дыхания и темп размножения, но увеличивает продолжительность жизни (К-стратегия). На биохимическом уровне роль главного переключателя могут играть, как упоминалось, активные формы кислорода.

В рамках изложенной концепции любой из ныне живущих видов использует одну из двух названных стратегий либо находится на стадии перехода от одной стратегии к другой.

Человек не может быть исключением из этого правила, если оно универсально для всех организмов. В то же время человек, развиваясь первоначально как биологический вид, достиг такой стадии, когда перестал полагаться на механизмы биологической эволюции. Когда нам надо взлететь, мы строим самолет, а не ждем миллионы лет, пока у нас за спиной отрастут крылья. Присущие нам специализированные механизмы эволюции, коль они действительно существуют, — не более чем атавизм, который может быть далеко не безобидным. Например, как уже отмечалось, переход к г-стратегии чреват сокращением продолжительности жизни, подверженностью в более раннем возрасте злокачественным заболеваниям и тому подобным, мягко говоря, «неудобствам». Есть надежда, что выяснив механизмы, переключающие г- и К-стратегии, и научившись ими управлять, мы могли бы покончить с такого рода опасным атавизмом и продлить время здоровой жизни людей.

В заключение следует подчеркнуть, что рассмотренное биологическое устройство, способствующее эволюции,

лишь частный пример, иллюстрирующий современное состояние проблемы. Вполне вероятно, что живая природа изобрела и другие способы ограничивать случайный поиск оптимального для данных условий варианта дальнейшего развития. Применительно к человеку любой из таких механизмов может выглядеть как врожденный и подлежащий исправлению дефект, поскольку то, что

хорошо для эволюции вида, не всегда оптимально для индивидуума.

Я благодарен Д.А.Кнорре, обратившему мое внимание на работу Макаурта и Уилсона, а также С.П.Маслову, Э.Муру, А.С.Севёрцову, Ф.Ф.Северину, М.В.Скулачеву, А.Н.Хохлову и М.Ю.Шерману за ценные советы при обсуждении работы и конструктивную критику.

НОВОСТИ НАУКИ

Охрана окружающей среды

Микроорганизмы на отработанных элементах реакторов и ржавление радиоактивных стержней

В мае 1998 г. в Атланте (штат Джорджия, США) состоялась очередная конференция Американского микробиологического общества, на которой К.Флирманс (С.Fliegman; компания «Вестингауз Саванна Ривер») представил отчет о результатах изучения микроорганизмов, которые населяют воду в баках, где хранятся отработанные топливные элементы от реакторов АЭС «Саванна-Ривер» (Эйкен, штат Южная Каролина).

Установлено, что такая вода, вопреки предположениям, не стерильна и не свободна от питательных веществ, необходимых для роста микроорганизмов. Последние, как выяснили биологи, способствуют образованию ржавчины на металлических оболочках ра-

диоактивных стержней. Этот факт был обнаружен в семи из восьми баков АЭС «Саванна-Ривер», где опытные образцы, моделирующие оболочки таких стержней, хранились более года.

Мелкие, около 1 см, срезы металлов, покрытые тонкой фторопластовой пленкой, находились на четырех уровнях водной среды в баках; часть образцов была изготовлена из хромо-никелевой нержавеющей стали, а часть — из различных сплавов алюминия. Последние пострадали от жизнедеятельности микроорганизмов в наибольшей степени: поверхность этих образцов была заселена всего через три недели, а спустя год они уже сплошь были покрыты биопленкой. Появившиеся на образцах трещины и ямки типичны для процесса коррозии. Это свидетельствовало о присутствии бактерий, способных осуществлять реакции химического восстановления сульфатов и вырабатывать коррозионно-активные кислоты.

Анализ биопленки показал присутствие в ней

альфа- и бета-радиоактивных изотопов, в частности цезия и европия, — значит, часть материалов из отработанных топливных стержней просачивается сквозь оболочку.

Флирманс полагает, что бактерии попали в хранилище вместе с топливными элементами, прибывшими из-за рубежа, а питательные вещества для них поставляли водоросли, обсохшие на стенках баков. По мнению Флирманса, проблему нельзя решить простым добавлением в воду каких-либо биоцидов, например хлора: они лишь усугубят процесс ржавления.

Следует отметить, что специалисты компании «Бритиш Ньюклеар Фьюэлз» с фактом существования биопленок на топливных элементах также знакомы. Однако никаких следов коррозии на отработанных стержнях, хранящихся на Селлафилдском предприятии, пока обнаружено не было.

New Scientist. 1998. V. 158. № 2136. P.6 (Великобритания).

Роль гидротермальных экосистем в продуктивности океана

М. Е. Виноградов, Г. М. Виноградов



Михаил Евгеньевич Виноградов, академик РАН, доктор биологических наук, заведующий лабораторией функционирования экосистем пелагиали Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Область научных интересов связана с изучением различных аспектов существования океанических экосистем. Участник и руководитель многих крупных океанологических экспедиций, спусков на глубоководных аппаратах «Мир». Старинный автор и член редколлегии «Природы».



Георгий Михайлович Виноградов, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН. Занимается систематикой и морфоэкологией амфипод, а также изучением придонного, в том числе пригидротермального, планктона океана. Участвовал в морских научных экспедициях, спускался на глубоководных аппаратах «Мир» к гидротермам Атлантики. Неоднократно публиковался в «Природе».

В ПОВЕРХНОСТНОМ слое океана, куда еще проникает достаточно света, идет бурный процесс фотосинтеза. Используя солнечные лучи в качестве источника энергии, мириады микроскопических водорослей фитопланктона из углерода, источником которого служит растворенный в воде CO_2 , и солей биогенных элементов (P, N, Fe, Si и др.) образуют органическое вещество собственных тел. Потом они становятся пищей планктонных животных, и новое органическое вещество попадает в трофические цепи пелагиали. Отмирая, часть планктонных расте-

ний и животных опускается в глубины океана. Туда же проваливаются фекальные частицы, опускаются при суточных вертикальных миграциях животные. Созданная наверху пища поступает на нижние «этажи» океана. И трудно представить себе масштабы этих процессов...

Уже в течение полувека научные коллективы разных стран (России, США, Канады, Франции, Англии и др.) пытаются оценить величину первичной продукции (ее принято выражать в количестве органического углерода, $\text{C}_{\text{орг}}$) Мирового океана (впервые это сделал в

1952 г. датский ученый Е.Стиман-Нильсен, применивший изотопные методы¹). Эта проблема не так проста, как может показаться. Существенные трудности в ее решении связаны как с экспериментальными определениями величины $C_{орг}$ в море, так и с выделением и оценкой площадей океана, имеющих различный уровень продуктивности². Только в последние годы при использовании изощренной техники проведения экспериментов и спутниковой информации о цветности океана в разных странах были получены довольно согласованные данные о глобальной величине первичной продукции, которая составляет 50—60 Гт $C_{орг}$ /год. Однако и она не лишена некоторых ошибок, связанных с недооценкой биологических процессов, идущих в экспериментальных склянках при непосредственном определении продукции в конкретных точках океана. С учетом этих ошибок приведенная величина возрастает до 100 Гт $C_{орг}$ /год. Для сравнения: первичная продукция наземных растений незначительно превышает 50 Гт $C_{орг}$ /год. Долгое время считалось, что именно фитопланктон «кормит» весь остальной океан, и других значимых источников органики в нем нет. Однако, как это часто бывает, дальнейшие исследования потребовали внести некоторые коррективы в это общепризнанное представление.

ХЕМОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ОКЕАНА

В 70-е годы на дне океана в местах расхождения литосферных плит, в так называемых рифтовых долинах, а позже — и в районах формирования некоторых островных дуг, на глубинах 2—4 км были обнаружены поля истечения горячих (до 400°C) флюидов, богатых серово-

дородом и сульфатами различных металлов (Fe, Zn, Cd, Mn и др.). На этих гидротермальных полях в массе развиваются хемосинтезирующие бактерии, живущие за счет энергии, которая высвобождается при окислении H_2S , S, $S_2O_3^{2-}$, NO_2^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} и других соединений, а также метана. Органическое вещество, образованное хемосинтетиками, оценено американскими микробиологами и нами в 0.1—0.6% глобальной первичной продукции фотосинтеза в Мировом океане³. Вроде бы очень маленькие величины, перекрывающиеся ошибками расчетов фотосинтетической органики. Но...

На самом деле из органического вещества, которое образуется в зоне фотосинтеза, большая часть минерализуется там же и вновь идет на создание продукции (так называемой продукции рециклинга). За границы фотического слоя, на глубину более 200 м, опускается лишь 10—15% этого вещества, т.е. 6—15 Гт $C_{орг}$ /год. В глубинных водах около 90% поступившей органики окисляется до минеральных соединений и CO_2 и в дальнейшем служит основой для синтеза «новой продукции». До дна доходит примерно десятая доля того, что миновало отметку 200 м: 1—2% от общей величины органического углерода. Таким образом, в глубинах океана потоки органики, созданной фото- и хемосинтезом, оказываются вполне сопоставимыми — они различаются менее чем на порядок величин в пользу фотосинтеза.

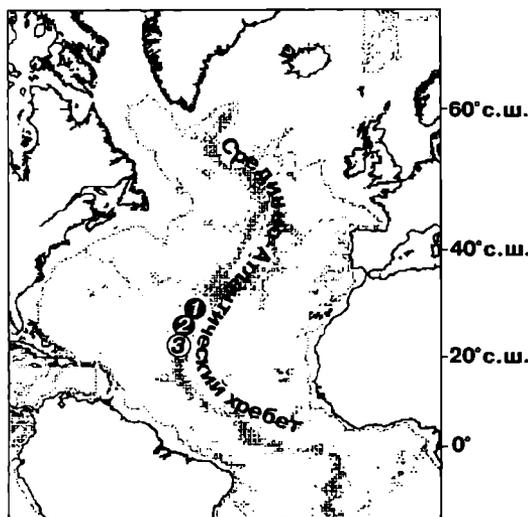
Возникают важные вопросы: насколько хемосинтетическая продукция используется самими гидротермальными экосистемами и каково их воздействие на окружающее пространство океана? Казалось бы, это влияние проще всего оценить по обогачению зоопланктона, который потребляет выходящее за пределы гидротерм орга-

© М.Е.Виноградов, Г.М.Виноградов

¹ Steeman-Nielsen E., Jensen E.A. Primary oceanic production: the autotrophic production of organic matter in the oceans // *Galathea Rept.* 1957. V.1. P.49—136.

² Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Биологическая продуктивность океана // *Природа.* 1996. № 7. С.38—51.

³ Jannasch H.W. // *Proc. Royal Soc. London. Ser. B.* V.225. P.277—397; Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. М., 1987.



Месторасположение гидротермальных полей Атлантики: Брокен Спур (1), ТАГ (2) и Снейк Пит (3).

ническое вещество, увеличению его биомассы над гидротермальными полями. Биомасса планктона в районе гидротерм при этом должна быть выше в придонном слое и уменьшаться по мере удаления от дна, как бы зеркально отображая⁴ количественные изменения биомассы зоопланктона, существующего за счет обычной, а не хемосинтетической органики, по мере увеличения глубины.

Однако попытки обнаружить «гидротермальное обогащение» зоопланктона в достаточно богатых органикой районах океана (Калифорнийском заливе, восточных районах Тихого океана), предпринимавшиеся американскими и российскими исследователями, не дали четких результатов. Лишь канадские специалисты, работавшие на подводном хребте Хуан-де-Фука (западное побережье Канады, 46° с.ш.), выявили повышенную численность планктона над гидротермальными полями во всем столбе воды, причем больше было не только глубоководных, но и среднеглубинных, и даже приповерхностных видов⁴. Однако дальней-

ший анализ полученных материалов позволил заключить, что это обогащение связано не с гидротермальными полями, а с апвеллингом, вызванным подводным хребтом, что характерно, например, и для подводного Маскаренского хребта в Индийском океане, где гидротермальная активность отсутствует. В результате осталось неясно, влияют ли гидротермы на обилие планктона.

Если обогащение планктона над горячими источниками все же происходит, его можно заметить на гидротермальных полях, расположенных в наиболее бедных, олиготрофных, районах океана: продукция фотосинтеза здесь очень низка, идущее с поверхности органическое вещество усваивается планктоном среднеглубинных слоев и не маскирует возможное придонное обогащение. Такие гидротермальные поля известны в рифтовой долине Срединно-Атлантического хребта.

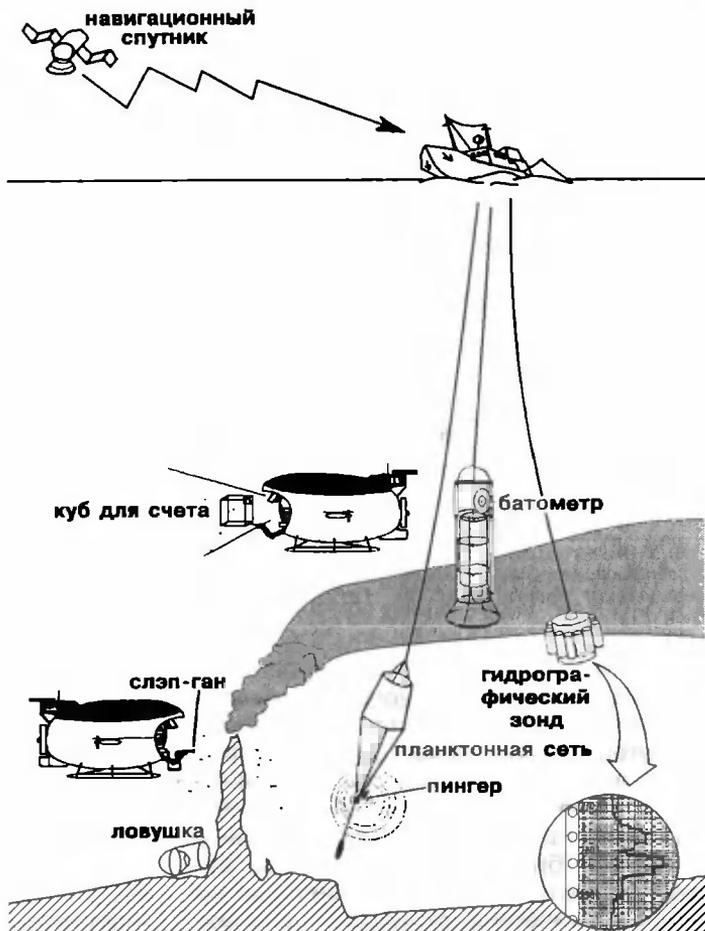
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА

В отличие от Восточной Пацифики рифтовая зона в Атлантике, связанная с Срединно-Атлантическим хребтом, не прижата к материкам. Поэтому существующие на этом хребте гидротермальные поля расположены не в богатых жизнью прибрежных водах, а под «океанической пустыней» — беднейшими водами североатлантического круговорота. Под водами его центральной части лежат гидротермальные поля Брокен Спур (29°10' с.ш., глубина 3100 м), ТАГ (26°08' с.ш., глубина 3700 м) и Снейк Пит (23°22' с.ш., глубина 3500 м). Именно они представляют наибольший интерес для решения нашей задачи. Другие известные атлантические гидротермальные поля находятся на границах североатлантического круговорота, т.е. уже в более продуктивных водах, либо в высокопродуктивных районах за его пределами.

Одна из основных особенностей глубоководных гидротермальных экосистем Срединно-Атлантического хреб-

⁴ Burd B.J., Thomson R.E. // Deep-Sea Res. 1994. V.49. № 9. P.1407—1423.

Изучение пригидротермального планктона (масштаб не выдержан). Гидрофизическим зондом определяется положение границ плюма (зарегистрированный прибором профиль гидрофизических характеристик показан внизу справа), с его глубин и приграничных зон отбираются пробы планктона большими батометрами и планктонными сетями, при этом положение орудия лова относительно дна уточняется с помощью акустического излучателя (пингера), ведется прямой подсчет планктона с «Мира». Для этой же цели, а также для изучения видового состава животных в толще воды отбираются пробы всасывающим устройством (слэп-ганом), а придонных хищников ловят ловушкой, установленной «Миром». Во время забортных работ положение судна уточняется с помощью системы спутниковой навигации.

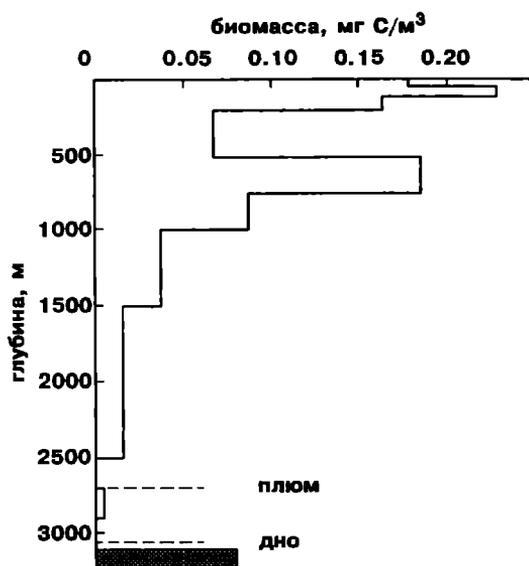


та — господство в них брезилоидных креветок. Некоторые из них (*Rimicaris exoculata* и *Iorania concordia*) скапливаются в фантастических количествах (до 2500 экз/м², по массе больше 2 кг/м²) непосредственно у мест выхода гидротермальных флюидов и питаются хемосинтезирующими автотрофными серными бактериями (в том числе теми, которые развиваются на их конечностях). Другие (роды *Chorocaris*, *Mirocaris*, *Alvinocaris*) обитают дальше от истечения горячих струй и потребляют отмерших ошпарившихся римикарисов и разные органические остатки.

В 1994 и 1996 гг. российскими экспедициями на НИС «Академик Мстислав Келдыш» изучались планктонные сообщества над полями ТАГ и Брокен Спур. Участие в работах

принимали и авторы этой статьи. Во время рейсов были проведены детальные исследования распределения биоты как во всей толще воды, так и в непосредственных окрестностях гидротермальных полей. Планктон собирали традиционными орудиями лова — планктонными сетями и батометрами большого объема (150—180 л) — и специальным всасывающим устройством, которым снабжены глубоководные обитаемые аппараты «Мир-1» и «Мир-2». Через их иллюминаторы также вели наблюдения и количественный учет.

Судя по сборам мезопланктона, попавшего в сеть с диаметром входного отверстия 1 м, его обилие прослеживается в верхних слоях океана примерно до 1000-метровой глуби-



Распределение биомассы мезопланктона в толще воды над гидротермальным полем Брокен Спур (по ловам планктонной сетью БР 80/113).

ны, а затем резко падает и остается столь же низким в придонном слое. Примерно те же результаты получены и в прямых визуальных подсчетах крупных копепод и хетогнат из «Миров». Однако уловы 180-литрового батометра дали иные результаты: на фоне резкого обеднения планктона глубже 1000 м его биомасса незначительно возрастает в 200—300 м над гидротермальным полем, в зоне так называемого пюма. А из иллюминаторов «Миров» на глубинах границ пюма наблюдалось повышенное количество желетелого планктона — медуз и гребневиков.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОКРУЖАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО ОКЕАНА

Горячие (примерно 300—400°C) флюиды, вырываясь из мест истечений со скоростью порядка 1 м/с, сначала поднимаются вверх, как дым из заводской трубы, а затем, остыв, распространяются по горизонтали. Это

и есть пюмы. Такие слои толщиной около 100 м не поднимаются выше 200—400 м ото дна и хорошо прослеживаются по повышенной мутности, а также увеличенному содержанию марганца и других элементов. При подъеме вверх струя флюида засасывает окружающую воду, частицы взвешенного в ней детрита и, возможно, мелких животных. В водах исследованных пюмов удалось установить повышенный уровень бактериального хемосинтеза⁵: над полем Брокен Спур он составляет примерно 18 мг углерода в кубическом метре воды, над полем ТАГ — до 370. Это примерно соответствует величине первичной продукции фотосинтеза в том же районе океана. Но не надо забывать, что гидротермальная экосистема — «точечный» источник! Кроме того, на долю автотрофной бактериальной хемосинтетической органики, которая и должна сравниться с автотрофной фотосинтетической, в ядре пюма приходится 60—80% от общей бактериальной продукции, а на его периферии лишь 10%. Созданная внутри пюма органика может привлекать — как источник питания — планктонных животных из более бедных фоновых вод.

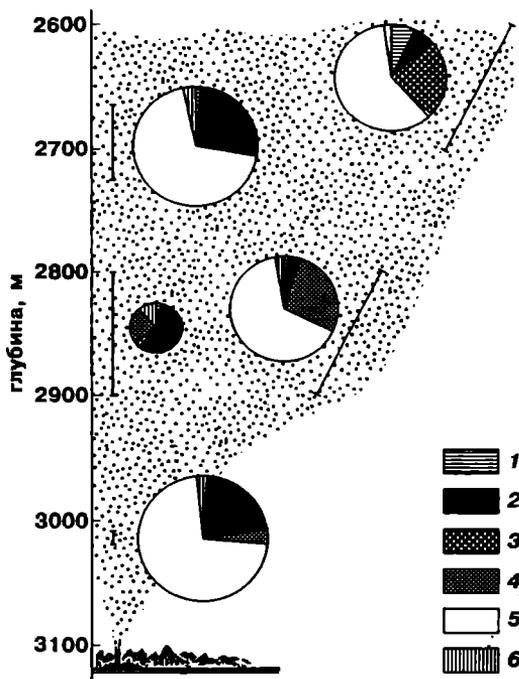
С другой стороны, градиент плотности воды на границах пюма формирует гидрологическую границу. Планктонные животные (особенно желетелые) часто сосредотачиваются на подобных границах, которые к тому же способствуют накоплению здесь осаждающегося сверху детрита и остатков погибших планктонных организмов. В этом случае происхождение границ не столь важно, и вызывают они не обогащение, а перераспределение уже имеющегося планктона.

Как уже говорилось, струями горячего флюида может захватываться и выноситься органическое вещество (детрит, обрывки личинок шкур и т.п.), созданное непосредственно на гидротермах. Однако основная часть

⁵ Лейн А.Ю., Пименов Н.В., Виноградов М.Е., Иванов М.В. // Океанология. 1997. Т.37. № 3. С.396—407.

«восходящего» потока детрита перехватывается в непосредственной близости от «черных курильщиков» представителями местного «биофильтра» — эндемичными придонными животными. На гидротермальном поле Брокен Спур основу такого фильтра составляют плотные (до 1 экз/м³ по подсчетам из «Миров») скопления личинок креветок рода *Chorocaris* в первых десятках метров от «курильщиков». Здесь же встречаются угри *Ilyophis* (семейство *Synaphobranchidae*) и плавающие полихеты из семейства *Polynoidae*, а в полусфере воды, в 100–300 м от источников, — личинки креветок *Alvinocaris* (около 0.1 экз/м³). В то же время молодь наиболее массовых креветок римикарисов, которые питаются хемоавтотрофными бактериями, а не детритом, держится вплотную к черным дымам. Мы уже отмечали, что креветки в огромных количествах сосредотачиваются на всех глубоководных гидротермальных полях Атлантики, следовательно, представленная здесь картина типична. Подобные придонные «биофильтры» вокруг гидротерм делают воздействие последних на окружающий океан через поток детрита минимальным⁶.

Гораздо реальнее влияние, связанное с выбросом за пределы плюма гидротермальных животных либо их яиц и ранней молодежи (для гидротерм Атлантики — это в первую очередь римикарисы и копеподы семейства *Dirivultidae*), в том числе и составляющих упомянутый «биофильтр». Величину этого потока оценить пока не удалось. Одна из причин — его периодическая изменчивость, обусловленная, например, репродуктивной цикличностью римикарисов или разной интенсивностью истечения флюидов. Однако, как показывают уловы «Миров», собранные специальным всасывающим устройством, в первых сотнях метров от «черных курильщи-



Биомасса планктонных и придонных животных над гидротермальным полем Брокен Спур (по уловам слэп-гана с «Мира»; перемещения обитаемого аппарата во время отбора проб показаны отрезками. 1 — «фоновые» планктонные рачки копеподы семейства *Calanoidae*, 2 — придонные гидротермальные копеподы семейства *Dirivultidae*, 3 — радиолярии, 4 — глобигерины, 5 — яйца римикарисов, 6 — прочие животные.

ков» Брокен Спур воздействие гидротерм на планктон вполне заметно⁷. Во взятых там пробах «экзотические» — пригидротермальные — животные (копеподы, яйца римикарисов, специфические фораминиферы и др.) безусловно преобладали над «обычными» океаническими планктонными организмами. Гидротермальные животные могут подниматься над источником для размножения, а также подниматься вверх бьющей горячей струей, которая выносит их на расстояние до 200–500 м ото дна. Восходящий по довольно узкой струе (первые сотни метров в ее

⁶ Vereshchaka A.L., Vinogradov G.M. // Deep-Sea Newsletter. 1996. № 25. P.18–20; Виноградов Г.М. Океанический планктон над глубоководными гидротермами // Природа. 1997. № 11. С.86–88.

⁷ Виноградов Г.М., Верещака А.Л., Шушкина Э.А. и др. // Океанология. 1997. Т.37. № 4. С.559–570.

верхней, расширенной части) поток зоопланктона настолько локализован, что не регистрируется стандартными судовыми орудиями лова — сетями и батометрами, они просто не попадают в него.

В рифтовой долине гидрологическая обстановка отнюдь не проста, переменные придонные течения там достигают скорости 17 см/с, о чем свидетельствует и заметный дрейф «Миров» на глубинах 2500—3100 м. По всей видимости, плюм представляет собой динамичную структуру, постоянно меняющую свои очертания. Очевидно, его отдельные массы могут отрываться, подобно облакам, и перемещаться вдоль рифтовой долины, постепенно смешиваясь с окружающими водами. В результате разведения в несоизмеримо больших массах воды поток органики из гидротермы становится ничтожно малым уже на ее окраинах — на расстоянии первых сотен метров по горизонтали. Иными словами, влияние его на глубоководное население очень локально.

Значительная часть пригидротермальных планктонных организмов, в первую очередь личинки и ювенильные ракообразные, потом вернется на гидротермальные поля, где достигнет зрелости. Однако некоторые из них отправятся в «свободное плавание» и, осев на дно, выполнят, очевидно, функцию расселения. Так, отдельные личинки гидротермальных креветок были пойманы разноглубинными травами (которые профильтровывают десятки и даже сотни тысяч кубометров воды за «сванс» лова) на расстоянии 50—100 км от гидротермальных полей. Такой разнос личинок важен для расселения, но с позиций включения гидротермальной органики в трофические цепи батипелагиали океана он исчезающе мал.

Изложенное позволяет сделать очень важные выводы.

1. Гидротермальные экосистемы не могут рассматриваться как двумерные системы, связанные только со дном океана. На самом деле они трехмерны и охватывают не только

площадь гидротермального поля, но и слой воды над ним по крайней мере до верхней границы плюма, т.е. до 200—500 м ото дна. Вынос течениями личинок на большие расстояния от гидротерм (иногда до 100 км) важен только для расселения.

2. Экосистемы гидротермальных полей энергетически квазизамкнуты: то первичное органическое вещество, которое создается в них за счет бактериального хемосинтеза и образует гигантские биомассы (биомасса вестиментифер рифтий на гидротермах Восточно-Тихоокеанского поднятия достигает 70 кг/м², а креветок римикарисов на гидротермах Срединно-Атлантического хребта — более 2 кг/м²), используется (минерализуется) внутри этой трехмерной экосистемы и практически не уходит за ее пределы. В то же время «обычный» океанический зоопланктон в пространстве гидротермальной экосистемы крайне немногочислен или почти отсутствует.

3. Гидротермальные плюмы способны вызывать пространственное перераспределение организмов «фоновое» планктона и, возможно, некоторое его обогащение за счет бактериального хемосинтеза непосредственно в водах плюма. В целом же воздействие гидротермальных экосистем на продуктивность окружающего пространства океана пренебрежимо мало.

Все сказанное касается гидротермальных экосистем, живущих за счет истечения горячих, обогащенных соединениями серы флюидов.

ХОЛОДНЫЕ ИСТЕЧЕНИЯ

Существование другой группы хемобиоса обеспечивают холодные истечения, приуроченные в основном к районам материкового склона и нижней части шельфа, в воды которых попадает метан. Этот газ используется метанотрофными бактериями, на базе которых образуются своеобразные трофические цепи и специфические (не всегда!) сообщества. Метан холодных истечений может быть в том числе и продуктом диагенеза захоро-

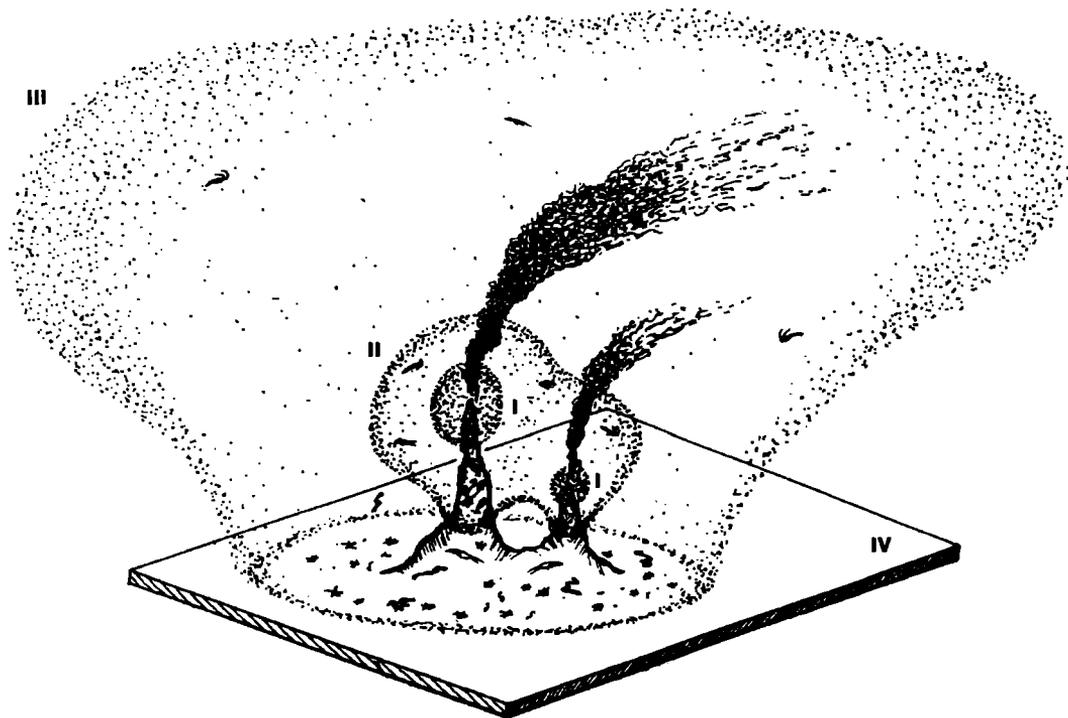


Схема строения трехмерной гидротермальной экосистемы (предложена А.Л.Верещакой). I — скопления бактериотрофов римикарисов у выхода флюидов; II — «ближний биофильтр» (личинки креветок *Chorocaris* в толще воды, взрослые креветки хорокарисы, мирокарисы и эндемичные крабы на дне); III — «дальний биофильтр» (личинки креветок *Alvinocaris* в толще воды, эндемичные угри у дна, разнообразные животные-детритофаги на дне); IV — фоновая «бентическая пустыня».

ненного древнего органического вещества (главным образом различных углеводов), поэтому существующих на основе его окисления бактерий нельзя считать «чистыми» первичными продуцентами. Но для современных сообществ они несомненно таковы. Важно, что, в отличие от «точечных» горячих гидротерм, холодные истечения иногда охватывают достаточно обширные районы.

Сообщества холодных высачиваний и горячих гидротерм отличаются в первую очередь тем, что основное население первых составляют обычные фоновые животные или их ближайšie родственники, но здесь их гораздо больше, чем на «спокойном» дне. Так, на мощнейших газовых высачиваниях подводного грязевого вулкана Хокон

Мосби в Норвежском море (глубина 1300 м), активно изучаемого в последние годы⁸, развиваются настоящие «луга» погонофор *Sclerolinum* sp. и *Oligobrachia* sp., существующих за счет симбиоза с метанотрофными (и тионовыми?) бактериями. Как показывают наблюдения из подводных аппаратов «Мир», погонофоры образуют огромные колонии протяженностью в десятки метров с плотностью покрытия площади, занятой ими, до 80–90%. Биомасса этих животных достигает небывалых для поселений погонофор на «спокойном» дне величин: 350–435 г на квадратный метр дна⁹. К таким колониям приурочены скопления бокоплавов, капреллид, пантопод («морских пауков») и мелких донных рыб (наиболее массовый вид — *Lycodes frigidus* из семейства *Zoarctidae*). Эти виды

⁸ Последняя экспедиция, в которой использовались глубоководные обитаемые аппараты «Мир», состоялась в июле 1998 г. на НИС «Академик Мстислав Келдыш» Института океанологии РАН. В ней участвовал второй автор этой статьи.

⁹ Гебрук А.В. Отчет отряда биологии // Экспедиционный отчет 40-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». ИО РАН. 1998. Рукопись.

относятся к фоновой фауне, однако в ее составе они встречаются значительно реже и скоплений не образуют. Местами дно в районе вулканического кратера Хокон Мосби покрыто бактериальными матами, общая площадь которых — не менее 20 га.

Надо всем этим обилием жизни плавают (в том числе в придонных слоях) многочисленные планктонные животные, самые обыкновенные, характерные для этого района и этих глубин: копеподы *Calanus hyperboreus* — до 156 мг/м³, аппендикулярии, остракоды, креветки *Hymenodora glacialis* и др. Вероятно, кроме своей обычной пищи, они потребляют также мелкие фрагменты бактериальных матов, подхваченных течением, и продукты «донно-хемосинтетического происхождения» — например, планктонных личинок тех же погонофор. При одном погружении «Мира» у дна был отмечен (вторым автором статьи) и плотный рой пелагических амфипод *Themisto abyssorum*, причем отдельные рачки явно подхватывали пищевые частицы со дна. Иными словами, органика донных сообществ здесь легко может включаться в пищевые сети пелагиали. Для этого нет препятствий вроде тех «биофильтров», которые существуют на гидротермальных полях.

Роль метановых истечений в продуктивности океана еще мало исследована. Возможно, она гораздо больше, чем представляется в настоящее время. Есть основания полагать, что помимо локальных специфических сообществ с ними связано массовое развитие фораминифер на материковом склоне и некоторых участках

шельфа арктических морей — Баренцева, Норвежского, Карского. Биомасса органического вещества фораминифер, по данным А.П.Кузнецова и И.И.Бурмистровой, иногда превышает там биомассу всего остального бентоса. С выходом газов из газогидратов связывают формирование ряда глубоководных коралловых рифов¹⁰. Есть сведения, что в дальневосточных морях (Охотском, Беринговом) скопления рыбы часто приурочены к районам с нефтепроявлениями, т.е. опять-таки к выходам метана. В Мексиканском заливе рифовых окулей и групперов привлекают банки с газовыми сипами — вернее, сопряженные с ними скопления донной фауны. Имеются также указания, что мелководные высачивания могут влиять на планктонных животных опосредованно: кроме газов в воду попадают различные микроэлементы, которые стимулируют вспышки развития фитопланктона¹¹.

Пока нет количественных данных о потоках органического вещества в районах холодных истечений. Но, несомненно, они должны быть детально изучены. Возможно, это приведет к кардинальной переоценке протекания биопродукционных процессов в присклоновых районах океана, в том числе и в морях, омывающих берега России.

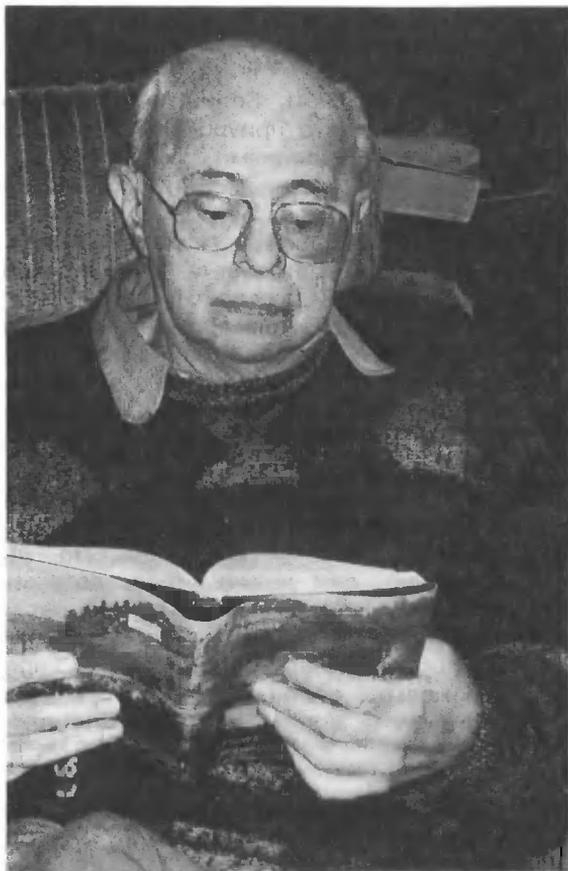
Поддержано грантом РФФИ 96-05-64248.

¹⁰ Несис К.Н. Погребенные рифы и газогидраты // Природа. 1998. № 7. С.113—115.

¹¹ Seabed pockmarks and seepages: Impact on geology, biology and the marine environment / Eds. M.Hovland, A.G.Judd. London, 1988.

Вера и знание

С. Лем



Польский писатель Станислав Лем не нуждается в представлении. Его научная фантастика и научно-философские трактаты и очерки на протяжении многих лет пользуются стойким успехом у российских читателей. Врач по образованию, он пристально следит за событиями, которые происходят в биологии и медицине, и немедленно реагирует на них философскими обобщениями, попутно захватывая широчайший круг тем — от социологии и этики до проблем космологии. «Я всегда был приверженцем широко понимаемого естествознания», — признался он однажды. И уточнил: «Эволюция — главный объект моих занятий, увлечений, удивлений и потрясений».

«Природу» связывает со знаменитым автором давнее знакомство. С. Лем печатался у нас по меньшей мере пять раз. Две статьи — «Принцип разрушения как творческий принцип» (1987. № 9) и «Стратегия паразитов, вирус СПИДа и одна эволюционная гипотеза» (1989. № 5) — были написаны специально для нашего журнала.

Когда мы обратились к мэтру с предложением принять участие в нашем 1000-м номере, он передал нам свой актуальный очерк, опубликованный весной этого года в журнале «Bez Dogmatu», на полях которого написал: «Для "Природы"».

Спасибо, д-р Лем!

РАЗГРАНИЧИТЬ области веры и научного знания не так уже легко, но возможно. По-видимому, вера предшествовала знанию, хотя то и другое зародилось вместе с артикулированной человеческой речью. Разумеется, мои дальнейшие замечания не относятся ни к классическому религиозоведению, ни к метанауке, тем более что и здесь и там достаточно много произвольного и неясного.

Полагают, что животные, особенно высшие, способны к поведению, в котором можно усмотреть аналог того, что мы называем навыками, а психолог школы Павлова назвал бы условными рефлексам. Скажем, у голубя, который многократно получает горошину, стоя на вытянутых лапах, может выработаться устойчивая ассоциация между кормлением и этой позицией, как если бы он верил в то, что вставание на вытянутые лапы способствует появлению гороха. Но это, скажет психолог, не более чем антропоморфное истолкование. Голубь ведет себя так, поскольку прошел своего рода дрессировку, то есть у него выработался условный рефлекс.

Условные рефлексы обычно не считают актами веры, хотя между теми и другими имеется определенного рода сходство. Это можно назвать нестираемостью определенного рода поведения. В отличие от веры знание гораздо более склонно к уступкам по отношению к опыту. Я не должен верить, что у стула, на котором я сижу, четыре ножки: в этом я легко могу убедиться самым непосредственным образом. Но если бы у него оказалось лишь три ножки, я без колебаний признал бы неистинность моих прежних знаний. Таким образом, акты познания имеют сильную опору в попперовском принципе фальсифицируемости¹. Вопрос о том, на скольких и каких именно ножках стоят теории, сильно зависит от количества эмпирических звеньев, из которых состоит

цепь логических умозаключений, заставляющих признать данную теорию эффективной. (Вопроса о том, как соотносятся эффективность и истина, я здесь касаться не буду.)

Напротив, вера (имеется в виду вероисповедание), как правило, не опасается каких-либо процедур, которые могли бы обнаружить ее неистинность. Мы, я полагаю, живем в эпоху, когда коллизия между верой и знанием неизбежна и все более обостряется. Впрочем, даже самый изощренный анализ логических противоречий в догматике каких бы то ни было вероисповеданий ни к чему не ведет. Как известно, Матерь Божия зачала от Святого Духа; между тем, хотя развитие женской яйцеклетки возможно и без сперматозоида (например, путем клонирования), каждый современный биолог знает, что результатом непорочного зачатия стало бы вынашивание плода женского пола, если, конечно, исключить чудесное введение в яйцеклетку хромосомы, ответственной за мужские половые признаки. Прикладывание эмпирических мерок к церковной догматике совершенно бессмысленно, поскольку это не может служить доказательством.

Недавно немецкий католический епископат, получив послание из Ватикана, был вынужден отказаться от своих консультационных пунктов для беременных женщин, чтобы выдаваемые ими свидетельства никоим образом не могли способствовать прерыванию беременности. Папское послание кладет начало событиям, отдаленные внерелигиозные последствия которых не поддаются предвидению. Назову хотя бы изменение общественных настроений, которое может привести к поражению правительства канцлера Коля на выборах².

По моему мнению (которое уж точно не вытекает из моей безошибочности), целостность веры, и не только католической, ее фундамент, ее догматы разрушаются глобальным дви-

¹ По К.Попперу, фальсифицируемость (опровержимость) — неперемный признак научного утверждения.

² Гельмут Коль действительно потерпел поражение на выборах в сентябре 1998 г.

жением цивилизации, которое обусловлено не в последнюю очередь накоплением знаний о процессах жизни, особенно человеческой, включая знания, связанные с регулированием рождаемости. Мы видим, что никто не в силах замедлить лавинообразное нарастание количества информации, в том числе биотехнической, за исключением разве что тех, от кого зависят крупные финансовые инвестиции. Недействительность возражений нравственного порядка хорошо известна нам из истории.

Из немецкой печати я почерпнул интерпретацию (предложенную отнюдь не теологами) религиозных запретов, направленных против секса. Тот бесспорный факт, что 40% яйцеклеток покидают оплодотворенный женский организм в качестве зигот, биолог считает одним из множества доказательств того, что жизнь размножается крайне расточительно. Говоря языком науки, жизнью правит статистика.

Мужчина, способный к соитию, но выделяющий при эякуляции лишь несколько миллионов сперматозоидов, не может рассчитывать на эффективное оплодотворение женщины. В таких случаях медицина применяет либо оплодотворение *in vitro*, например при помощи фракции яйцеклеток, пропущенных через центрифугу, либо оплодотворение одним-единственным сперматозоидом, который вводится в яйцеклетку путем прокалывания специальной иглой. Между тем экспериментальная биология, в тесном сотрудничестве с крупной фармацевтической промышленностью, усиленно трудится над изменением плодности обоих полов путем целенаправленного вмешательства.

Мы имеем дело с кумуляцией знаний, которая сама по себе не является и не может являться чем-то наподобие противорелигиозной артиллерии. Мотивы, которыми руководствуются отдельные исследователи, несводимы к агрессивному атеизму, который желает поставить под контроль естественные процессы, сформировавшиеся в ходе антропогенеза. Тут вообще нельзя говорить о какой-либо заранее намеченной цели, обусловленной заранее заданной системой ценностей. Научные знания развивались и развиваются, невзирая на ущерб, который может принести практическое внедрение их результатов, будь то в мирных или военных целях. Невозможно однозначно задать направление движения мира, в котором мы живем, и невозможно затормозить это движение. Самоубийственные секты, ответвляющиеся от ствола традиционных религий, особенно в наиболее развитых обществах, свидетельствуют о том, что мы проходим одну из критических точек истории цивилизованного человека, который столкновения (даже фронтальные) веры и знания воспринимает скорее пассивно: целостная разумная интеграция совершающихся процессов не в его силах.

Под конец я, в качестве наблюдателя-дилетанта, позволю себе заметить, что священные писания, открывающиеся словами «во имя Бога милостивого и милосердного» (такие, как Коран), способны переделать людей до такой степени, что приверженцы этого доброго Бога в запале прозелитизма доходят до массового человекоубийства.

© Перевод с польского **К.В.Душенко**

Аристократы среди растений

О. Н. Демина,

кандидат биологических наук

Научно-исследовательский институт биологии
Ростовского государственного университета

КОГДА видишь цветущую орхидею — испытываешь почти благоговейный восторг, а при встрече с ней в дикой природе впечатление усиливается, недаром орхидеи называют жемчужинами растительного мира. Благодаря их удивительной красоте некоторые страны выбрали местные орхидеи национальными символами, им поклоняются, о них сложено много мифов и легенд. Более тысячи лет назад они были введены в культуру в Китае.

Впервые орхидные упоминаются в научных трактатах древнегреческого философа и естествоиспытателя, одного из первых ботаников древнего времени Теофраста (III в. до н.э.). В переводе с греческого «орхис» означает «яичко» и указывает на внешнее сходство парных подземных клубней орхидных с яичками животных.

Семейство орхидных, или ятрышниковых, (*Orchidaceae*) самое крупное среди однодольных растений, насчитывающее по некоторым данным около 800 родов и 35 тыс. видов. Многие из них — эпифиты; они растут на стволах и ветвях деревьев, но иногда украшают гнезда птиц, или поселяются прямо на скалах. Диапазон условий обитания эпифитных орхидных очень велик, но они почти не выходят за пределы тропиков. Их облик очень разнообразен: от крошечных, едва различимых, до пышных крупнолистных и крупноцвет-

ковых с соцветием длиной иногда до 2—3 м. В отличие от них орхидеи умеренных областей — это многолетние наземные травы с подземными корневищами или клубнями, скромными и неброскими цветками.

В процессе эволюции у орхидных выработались очень своеобразные черты в их биологии, что отличает это семейство от других семейств цветковых растений. Поражает индивидуальность структуры, формы, цвета и запаха цветков, у которых строение в высшей степени своеобразно, и все это сопровождается сложнейшими механизмами опыления.

Все орхидные — облигатно микотрофные организмы, которые развиваются до взрослого растения в течение нескольких лет и только при наличии специфических симбиотических связей с грибом с момента начала развития зародыша. Возобновление орхидных естественным путем идет чрезвычайно медленно, причем их семена прорастают только в присутствии определенных видов почвенных грибов, на жизнедеятельность которых сильно влияют промышленные и сельскохозяйственные загрязнения. В начале XX в. орхидеи научились выращивать из семян, зараженных эндофитным грибом от материнского растения.

По решению Международного союза охраны природы (МСОП) все ятрышниковые охраняются как ценный, трудно возобновляемый

генофонд Земли. Это одно из немногих семейств, все представители которого во многих европейских странах взяты под государственную охрану, что связано с их сложным биологическим развитием, большой экологической уязвимостью и приуроченностью к более узкоспециализированным экотопам. Они включены в список растений, торговля которыми регулируется в соответствии с Конвенцией о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (Конвенция СИТЕС). Несмотря на это, численность и ареал популяций ятрышниковых в последнее время заметно сокращаются в результате уничтожения их местообитаний. Значительный урон наносят всем орхидеям люди, собирающие их как декоративные и лекарственные растения. В условиях антропогенного пресса и в связи с особенностями их биологии и экологической приуроченности орхидные, как правило, выпадают из состава флоры одними из первых.

Строжайшая охрана орхидей на территории России предписывается Федеральной Красной книгой, куда вошли 44 вида. В степной зоне орхидеи были всегда чрезвычайно редкими. Независимо от плотности ценопопуляций, жизнестойкости и экологической пластичности все орхидные (восемь видов), зарегистрированные на территории Ростовской области, включены в 1996 г. в книгу

«Редкие и исчезающие виды растений, грибов и лишайников Ростовской области» как ценнейшая группа редких и исчезающих видов растений региона. Меры охраны орхидей, как и всех исчезающих растений, невозможны без сохранения условий их обитания, однако для орхидей, с их сложнейшим биологическим развитием, стеноитопностью (способностью существовать лишь в специфических, резко ограниченных условиях среды) и ничтожной конкурентоспособностью, необходимо это делать только в условиях строгого заповедного режима.

Из известных науке более 80 видов рода *Orchis*, встречающихся в холодном, умеренном и субтропическом поясах Северного полушария, во флоре России зарегистрировано 13 видов, подлежащих особой охране. Из них в Ростовской области по нашим данным стало достоверно известно о произрастании только двух видов. Ятрышник болотный (*Orchis palustris*) был включен в дополнение к «Флоре Нижнего Дона», а для ятрышника клопоносного (*O. coriophora*) впервые зарегистрировано новое местонахождение — крайняя северо-восточная точка границы ареала¹. Ранее для флоры Ростовской области указывался ятрышник дремлик (*O. morio*) на Доно-Цимлянском песчаном массиве², который, видимо, исчез в связи с изменением условий местообитания в результате заполнения Цимлянского водохранилища; возможно, вид был указан ошибочно.



Ятрышник болотный на Доно-Цимлянском песчаном массиве.

Фото автора

Ятрышник клопоносный — сокращающийся в ареале средиземноморский (кавказско-малоазиатско-европейский) уязвимый вид. Это травянистый многолетник высотой 15—40 см с шаровидными клубнями, с цилиндрическим стеблем и 4—8 продолговато-ланцетными, узко-линейными, линейными листьями. Соцветие густое, колосовидное с мелкими цветками. Листочки околоцветника образуют клювовидно-заостренный грязно-коричнево-пурпурный шлем. Губа — 4—5 мм шириной, оливкового оттенка, у основания беловатая с пурпурными точками. Цветет с конца мая до конца июня.

Ранее было известно единственное местонахождение ятрышника клопонос-

ного на территории Ростовской области в Усть-Донецком районе в урочище Длинном (Нижнекундриченский песчаный массив). В 1997 г. вид был впервые зарегистрирован в Цимлянском районе на Доно-Цимлянском песчаном массиве. Обитает на сырых лугах, песчаных влажных местах, среди кустарников. Достаточно многочисленная популяция в урочище Длинном значительно отличается от малочисленной (около 30 особей) на Доно-Цимлянском песчаном массиве, где плотность ценопопуляций составляет 1—3 особи на 1 м². Изолированность популяций, преобразование территорий и уничтожение местообитаний, все это ставит под угрозу сохранение этого вида и требует срочных мер по его полной охране. Важное теоретическое значение при разработке мероприятий по

¹ Красная книга РСФСР. Растения. М., 1988.

² Флеров А.Ф. Растительный покров // Доно-Цимлянский песчаный массив. Ростов-на-Дону, 1935. Вып. 1.

его сохранению имеет тот факт, что здесь проходит крайняя северо-восточная граница его ареала.

Ятрышник болотный — средиземноморский (субсредиземноморский) вид, который также находится под угрозой исчезновения. Это травянистый многолетник высотой 30—50 см с цельными шаровидными клубнями, с цилиндрическим, в верхней части фиолетовым, у основания покрытым свободными чешуйками, равномерно олиственным стеблем. Листья линейные, длинно-заостренные, со слегка завернутыми краями. Соцветие редкое, колосовидное с фиолетовыми и розовыми, довольно крупными цветками. Боковые листочки околоцветника отогнуты. Губа обратнойцевидная, с тремя слабо выраженными лопастями, с темными пятнами и полосками. Цветет

с конца мая до конца июня.

Единственное известное местонахождение ятрышника болотного на территории Ростовской области, которое подтверждают наши сборы в 1997 г., отмечено на Доно-Цимлянском песчаном массиве. Растет ятрышник болотный на сырых лугах в понижениях на песчаном массиве по всей территории. В пределах существующей популяции есть несколько ценопопуляционных группировок, отличающихся по приуроченности к растительным сообществам и по элементам популяционной структуры. В целом популяция очень многочисленная: в среднем около 5—7 растений на 1 м².

В настоящее время оба вида охраняются в существующем на Доно-Цимлянском песчаном массиве Государственном заказнике федерального значения «Цимлянский». Ос-

новное направление стратегии сохранения этих двух орхидей — создание заповедного режима на рассматриваемой территории, а также изучение структуры и функционирования всех ценопопуляций и их полная охрана.

«Орхидные называют семейством «аристократов» среди растений. Они обогащают духовный мир человека, как это делают шедевры искусства... И если вам встретится на пути это маленькое чудо природы — цветущая орхидея — и вы протянете руку, чтобы в один миг ее сорвать, остановитесь и вспомните, что, может быть, именно этому растению потребовалось около десяти лет от семени до первого цветения!»³.

³ Жизнь растений. М., 1982. Т.6. С.274.

ЗЕРКАЛО «ПРИРОДЫ»

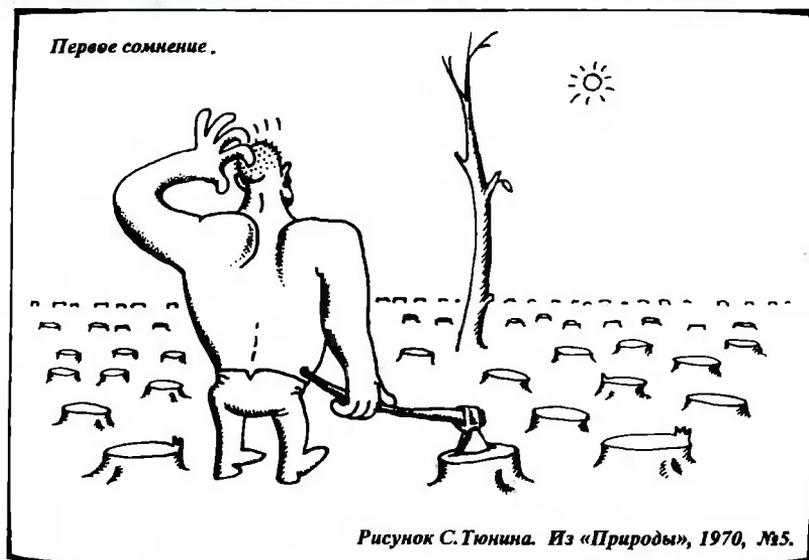


Рисунок С. Тюнина. Из «Природы», 1970, №5.

Около тридцати лет назад, когда в большой моде были разговоры про "физиков и лириков", а цензуре откровенно не нравилось, что "ученые шутят", в нашем журнале появилась рубрика "Зеркало "Природы". В этом юбилейном номере мы решили повторить некоторые карикатуры того времени.

Черный ворон

В. И. Булавинцев,

кандидат биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции животных им. А. Н. Северцова РАН
Москва

ПО-ЗИМНЕМУ малиновое солнце нехотя показалось из сиреневой дымки промороженного январскими холодами неба. Неяркие лучи вяло скользнули по вершине старой сосны на краю сфагнового болота, позолотив серебряную пыль инея на перьях ворона (*Corvus corax*). Он проснулся задолго до рассвета и чутко дремал, укутав в распушенные перья лапы, по-стариковски опустив голову с прижатым к груди тяжелым клювом. Холод его не особенно беспокоил. Он был сыт. Несколько дней назад на старой зарастающей вырубке, граничащей с его болотом, погибла от ран лосиха. Приезжие городские охотники тяжело ранили ее в брюхо уже под вечер и не успели добрать. Помешала разгравшаяся к ночи метель, а утром все следы укрыло снегом.

Лосиная туша, седая от инея, с оскаленной мордой и густой, выклеванной глазницей манила к себе обитателей леса. Скандальные сойки затеяли свару, надсадно оглашая вырубку истошными криками, не поделив лохмотья шкуры — остатки ночного пира волков. Сытые звери ушли под утро, не таясь. Их ленивые следы тянулись с вырубки широким веером и только в лесу сливались в тропу, петлявшую опушечным березняком в сторону чернеющего вдали ельника.

Бойкая белошекая синичка старательно теребила

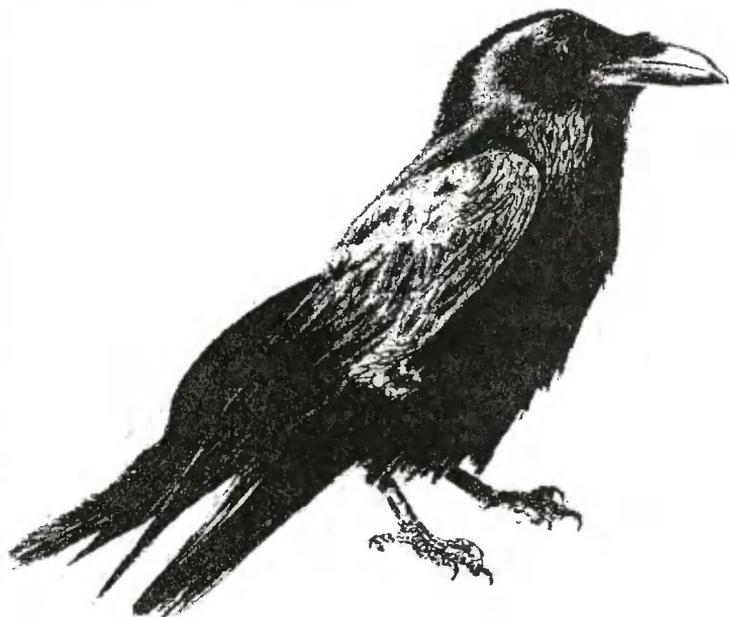
кусочек мяса, зажав его в одной лапке-кулачке, а другой упираясь в снег и поминутно оседая на растрепанный хвост.

Чуть поодаль, за полуогнившим сосновым пнем, устроилась, распластавшись на снегу, лисица. Щекой она припала к лапам, в которых был зажат кусок мерзлой плоти, и, шурясь, оголяла крепкую бель молодых зубов в углу ощеренной пасти.

Старый ворон отчетливо видел все это с высоты, неторопливо облетая вырубку. Минул год, как он остался один. Его подруга погибла прошлой зимой в капкане. Другой он не искал — слиш-

ком поздно. Век ворона вовсе не триста лет, как гласит людская молва. Он схож с нашим. Жизнь птицы, простая и немудреная, как полет изумрудно-голубого зимородка над излучиной лесной речки, почти вся прошла в этом лесу с огромным сфагновым болотом, поросшим чахлыми соснами.

Далекого прошлого ворон не помнил. Перенесись он на 35 лет назад, то смог бы увидеть картины своего детства и юности. Огромную замшелую березу в заболоченном лесу с темной шапкой тяжелого гнезда высоко над землей. В этой лесной поднебесной колыбели, заботливо



Одинокий ворон.

Здесь и далее использованы рисунки Б. Хейнриха из книги
«Ворона зимой»



В полете.

Рисунок автора

С первыми лучами солнца огромная черная птица облетала свои владения привычным маршрутом, высматривая пищу — трупы павших животных, раненых, больных или ослабевших от старости. Нападая и нанося удары тяжелым, отливающим сталью клювом, он не знал жалости и страха. Врагов у ворона, кроме человека, в здешних местах не было.

Вот и теперь круто и почти бесшумно упав с высоты к туше, он мягко присел чуть в стороне от нее, легко прошлепав огромными, более метра в размахе крыльями. Выждав из привычной осторожности несколько мгновений, ворон направился к падали по-хозяйски основательно: ступал неторопливо, слегка разворачиваясь всем корпусом при каждом шаге.

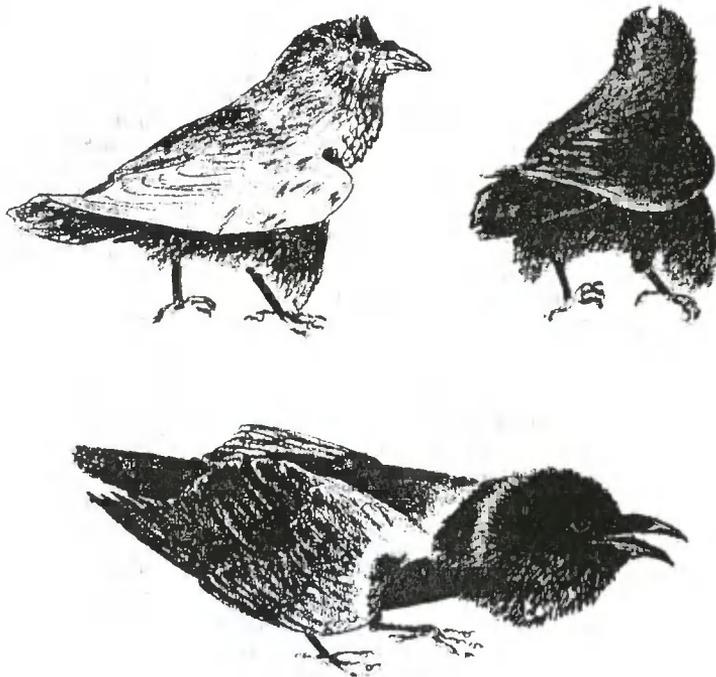
Лисица вскочила на ноги, не выпуская из зубов своего куска и отбежав подальше, снова улеглась на снег, косясь и огрызаясь в сторону угрюмой птицы. Разлетевшиеся по сторонам сойки пробормотали что-то недовольно, вполголоса, и смолкли.

Насытившись, отяжелевший ворон взлетел не сразу, а с разбегом, неуклюже подпрыгивая в истоптанном и грязном от крови снегу. Потянул черной клинохвостой, длиннокрылой тенью невысоко над землей, медленно набирая высоту. Теперь он будет отдыхать где-нибудь на дереве, в безопасном и укромном месте, и только к вечеру вернется на вырубку для вечерней трапезы. Ничто не нарушало однообразия его жизни, протекавшей в одиночестве и постоянных поисках пищи.

Зима уходила неохотно, огрызаясь февральскими

высланной теплым пухом, было четверо птенцов. Все лето воронята, уже к июню покинувшие гнездо, жили с родителями, старательно их опекавшими, и только осенью разлетелись кто куда, каждый своей дорогой.

К исходу третьей зимы своей кочевой жизни он встретил ту, с которой прожил в этих местах 30 лет. Многое пережил и повидал он за эти годы. Голод в холодные малоснежные зимы. Кровавые пиры на трупах оленей и кабанов, павших от истощения в лесах, надежно укрытых белоснежным саваном обильных и частых снегопадов. Лесные пожары с гибнущими в их огненном чреве большими и малыми тварями. Брачные игры в бирюзовом, напоенном нежностью и страстью весеннем небе. Родительские хлопоты о хрупких зеленоватых, в буроватых крапинках яйцах, а позже — беспомощных, безобразно большеротых и рахитично пузатых голышах птенцах. Все это было в прошлом. Теперь его жизнь текла размеренно и неторопливо.



Чтобы привлечь внимание будущей подруги, ворон распушает перья на голове, покашливает, расхаживает, принимая разные позы.

вьюгами, но к марту ослабев, уступила стремительно надвигавшейся весне. Снег заметно осел и посерел, а к ночи покрылся хрусткой глазурью весенней наледи. Зазвенели хрусталем голоса синиц. Одевшись в яркое весеннее перо, красавцы рябчики неугомымо высвистывали своих подруг. С дальних лесных полей и вырубок все чаще слышалось страстное бормотанье очумевших от солнца и любви косачей.

Не устоял перед весной и старый глухарь, живущий по соседству. Просыпаясь рано, до восхода солнца, он шумно ворохался на корявой сосне, обламывая с нее еще по-зимнему хрупкие веточки. Его силуэт, с широкими веерами низко опущенных крыльев, бородатой головой и полуприкрытыми в экстазе любовной песни глазами, да и сама эта песня, не по-птичь сухая, больше похожая на стрекотанье огромной членистоногой твари из мира допотопных насекомых, будоражили ворона. Нервно взвешивая перья головы и шеи, нетерпеливо переступая по золотистому шелку сосновой ветви закованными в роговую броню лапами, кланяясь и поводя головой и чуть приподнятыми плечами, он то ли звал свою навсегда потерянную подругу, то ли жаловался весне на одиночество.

Приглушенно-трубные, бархатисто-гортанные звуки плыли над болотом, уносясь в небесную высь без ответа. Не выдержав напряжения, ворон шумно сорвался, задев ветви сосны огромными иссиня-черными крыльями, и, поднявшись широкой спиралью в голубую бездну весеннего неба, взывал оттуда к той, которую ждал. И однажды, апрельским утром, случилось чудо. В ответ на свой безнадежный призыв он услышал далекий голос одиночества.



Ворон у гнезда. Этот вид распространен в Арктике вплоть до пустынь и высокогорий, населяет лиственные и хвойные леса Европы, Азии, Северной Америки, обычен и в Африке. По сообразительности и приспособленности к условиям окружающей среды с вороном мало кто может сравниться. Здесь и далее фото автора

Весь мир и все, чем он был в этом мире, слились в том молчащем и столь для него желанном крике, который почти терялся у самого горизонта, уже потеплевшего розовой дымкой нарождающегося утра.

Ворон летел на свет зари, огромный и царственно великолепный в пурпуре грядущего дня, и не было силы, способной остановить его, услышавшего зов жизни.

К началу мая отцвели сиреневые-розовые фонарики медуницы, а по сухим влюбкам песчаных грив, укрытых коврами сосновой хвои,

седых лишайников и изумрудных мхов, поднялись зелеными ладошками ландыши.

В лужах, на заброшенных лесовозных дорогах, все еще не умолкали лягушачьи свадьбы. Сбросив оцепенение зимней спячки, выползли из подземных гнезд змеи и грелись в нежных лучах майского солнца на сухих буграх по краям болот и вырубок. С рассвета и до сумерок звенели на все лады птичьих голоса — гимном солнечному свету, творящему любовь и жизнь на земле.

Ворон и его новая подруга не замечали праздника обновления природы. Радость встречи и любовная нега остались позади. Молодую подругу ворона переполняла потребность материнства. Они торопились. К началу мая в вороновом племени обычно уже появляются птенцы, а его супруга только начала согрывать кладку из трех яиц.

Полулежа в теплом глубоком гнезде, устроенном высоко над землей, в развилке толстой сосновой ветви, она видела низину сфагнового болота и тонущую в утренней золотистой дымке зелень сосняков на гривах, уходящих чередой зеленых валов за горизонт. Облюбованная воронами грива, поросшая могучими корабельными соснами, замшелом-темными понизу и золотисто-коричневыми ближе к вознесенным в небо вершинам, дыбилась, словно спина морского чудовища, всплывшего на миг из салатовой пучины болотных мхов до так и застывшего недвижно навеки.

Низкорослые сосны-уродцы, чахнувшие два столетия в окружавшем гриву болоте, были ровесницами и родными сестрами могучих красавиц, росших по соседству, на песчаных буграх.

Проезжих дорог в этой болотной глухомани не было.



Хвойный лес — обычное место обитания черного ворона.

Редкие лесовозные волоки, донельзя разбитые гусеницами и колесами тяжелых машин, тонули в огромных лужах и колдобинах, по края залитых талой водой. Малодоступные даже пешему, покоились они в лесной

глуши уже лет пятнадцать, с тех пор как отсюда ушли последние лесорубы. Покойно и привольно было вокруг воронового места.

Пригревшись в гнезде, на мягком весеннем солнце, огромная черная птица дремала в ожидании супруга, с утра и до вечера рыскавшего в округе, порой улетавшего в поисках корма на 15–20 километров. Она почти не



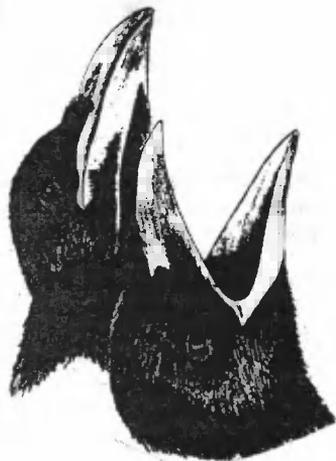
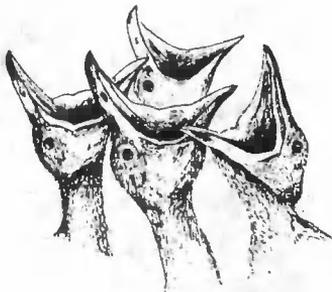
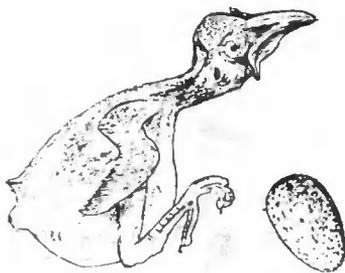
Цветут медуница и ландыш.

покидала кладку, и старый ворон заботливо ухаживал за ней, принося корм к гнезду.

Теперь, весной, пищи стало больше, чем в зимнюю пору, но добывать ее на двоих было совсем не просто. Зимой он внимательно



В разгаре весна: гадюка выползла из подземного гнезда и греется на солнце, а лягушки устраивают громкие свадьбы.



Трудно представить, что этот уродец (вверху), появившийся на свет около недели назад, через пару месяцев превратится в великолепную мощную птицу. Голодные рты широко раскрыты (в середине). Птенцам уже три недели, и они по-прежнему выпрашивают пищу у родителей.

следил за волчьей стаей, державшейся около болота, и время от времени пользовался остатками волчьих трапез. Кое-что перепадало ему от охотников, потрошивших добычу — кабанов и лосей — тут же на месте, в лесу. Ворон хорошо разбирался в звуках выстрелов, безошибочно отличал сухие винтовочные хлопки по крупному зверю от гулко-боя дробовиков, снаряженных на пернатую дичь и звериную мелочь.

Теперь ему приходилось довольствоваться жуками, улитками, червями, лягушками и даже змеями. Если везло — разорял птичьи гнезда или забивал ослабевшего зайчонка. Добывать корм было хлопотно, но он старался, и его подруга не голодала.

Вечерами, к закату, уставший ворон шумно устраивался около гнезда, чудно красивый в лучах клонящегося к лесу солнца, в пурпурных и фиолетово-синих переливах литого пера, нежно и ловко перебирал тяжелым клювом перья на голове, шее и крыльях своей избранницы, чуть слышно щебеча ей песнь своего сердца.

Весенние дни углывали один за другим в заботах и будничных волнениях. Близилось время появления птенцов.

Сначала был свет, размытый, неясный, с ощущением тревоги и холода. Временами возникало легкое движение, свет пропадал, и тогда приходило блаженное тепло и покой. Постепенно ощущения становились определеннее. Где-то там, за пределами его слепого и тесного мира, возникали неясные, ватно-приглушенные звуки, точного значения которых он еще не знал, но отличал среди них предназначенные только ему. Иногда звуки были тревожными. Они будили в нем страх, и он замирал, сжимаясь от ужаса, погружа-

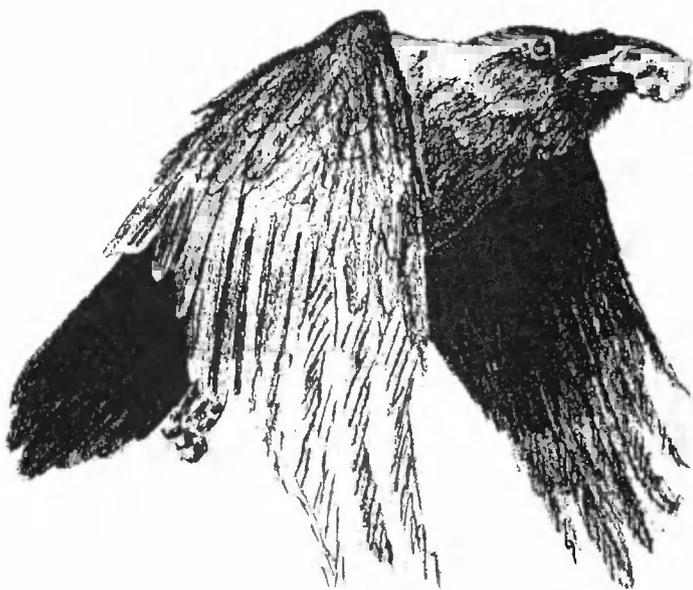
ясь в оцепенелое, полубоморочное состояние.

Позже, все чаще и чаще, им овладевало беспокойство. Оно не было связано с чем-то определенным. Его влекло туда, откуда приходил свет и приглушенный шум леса.

Однажды, когда тревога и неодолимость навязчивого желанья стали нестерпимыми, от резких его движений, почти судорог, что-то произошло, и ощущение невыносимого напряжения ослабло. Ошеломленный внезапностью происшедших перемен, замерев от обрушившегося на него моря света и шума, он лежал распластанным, коротко пульсирующим комочком мокрой голой плоти, дрожащей ознобом страха и непривычной свежести. Таким было его рождение.

Вскоре после своего освобождения из яйца вороненок почувствовал нетерпеливое движение таких же, как он, голых и беспомощных существ, его сестер. Теперь он был не один, их стало трое. Они, как одно целое, дружно раскрывали клювы, обнажая красные, влажные воронки ненасытных ртов, хором требуя пищу. Все разом сжимались в плотный ком, заслышав крики тревоги тех, кто неустанно кормил их и обогревал от ночного холода и дневной сырости.

Пришло время, и мир света и тени сменился на буйство цвета и форм. Вороненок учился видеть окружающий мир. Все в этом мире было удивительно. Молодая зелень сосновой хвои, шелковисто блестящая в лучах утреннего солнца. Буровато-серый жук усач, неуклюже одолевающий крутизну нароста древесной коры. Непоседа крошка-королек в золотисто-оранжевой шапочке, висающий вниз головой на кончике сосновой веточки, занятый поиском паучков и личинок насекомых.



С добычей.

Любоваться окружающим миром хорошо, когда сыт, а его донимал голод. С самого начала вороненок был крупнее и сильнее своих сестер, ему доставался лучший корм и самое удобное место в гнезде. С первых перьев усвоил он науку выживания — жизнь это пища, и за нее нужно бороться.

Воронята быстро росли. Матово-черные, короткокрылые и куцехвостые, теперь они ожидали родителей с кормом, сидя на ветвях сосны, рядом с гнездом. Опарившись немного раньше своих сестер, вороненок первым, совершенно неожиданно для себя, испробовал свои крылья. Случилось это из-за его неумного любопытства и непоседливости.

Заинтересовавшись крупной мохнатой гусеницей, которая слепо ворочалась на конце сосновой ветви, он увлекся и опомнился только тогда, когда ветка под тяжестью его неуклюжего прыжка резко подалась вниз. Не-

сколько мгновений вороненок пытался удержаться, отчаянно и бестолково молотя в воздухе крыльями, с ужасом чувствуя, что все более соскальзывает по гладкой хвое вниз, в пустоту.

На землю он не упал, сумев каким-то непостижимым для него самым образом спланировать на нижние ветви соседнего дерева. Здесь его, очумевшего от пережитого страха и не совсем опомнившегося от довольно чувствительного удара грудью о ветви яриотившей его сосны, и нашли прилетевшие вскоре родители.

Довольно долго взрослые птицы пытались увлечь вороненка за собой, надсадно крича и возбужденно прыгая по ветвям, но он, до смерти напуганный и ошеломленный случившимся, только крутил головой с широко раскрытым клювом, намертво вцепившись лапами в ветку-спасительницу, часто дышал и слатывал, громко жалуясь на свою беду.

Отчаявшиеся родители так и не сумели ничего поделать в этот день, им

пришлось кормить птенца там, где он был и где провел жуткую, томительно бессонную ночь, правда, под охраной старого ворона, ночевавшего рядом. Июньская ночь выдалась теплой и мерзнуть птенцу не пришлось.

Утром следующего дня, освоившись со своим новым положением, вороненок попытался подняться выше, пересякая по веткам и шумно помогая себе еще непослушными крыльями. В конце концов он водрузился на толстой ветке, что тянулась в сторону его родного гнезда.

Ближе к вечеру старому ворону удалось наконец увлечь своего первенца за собой, и вороненок неуклюже перелетел на родное дерево. Собравшись вместе, они еще долго обсуждали случившееся гортанно-хриплыми головами и угомонились только с опустившимися на лес теплыми летними сумерками.

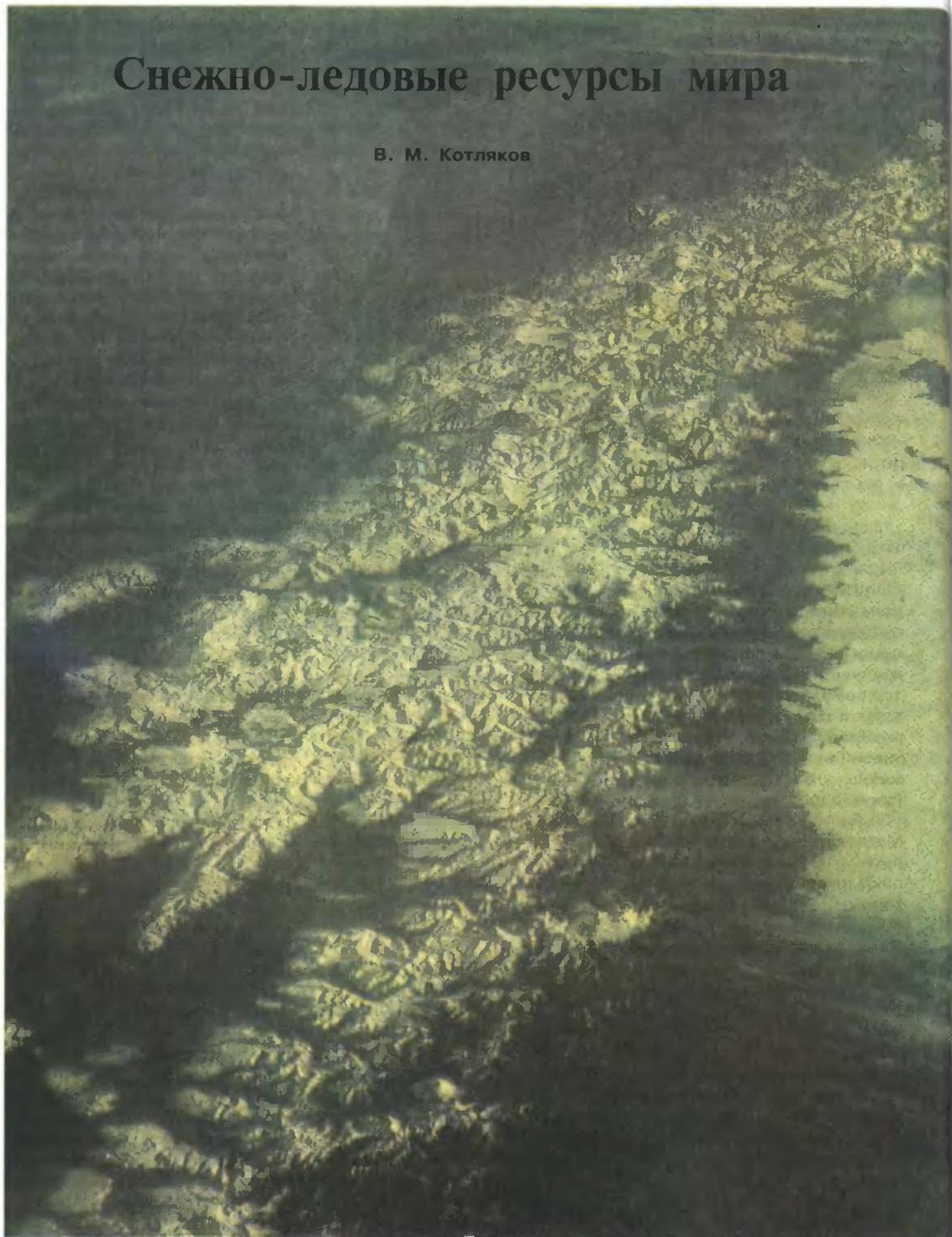
Первый неудачный опыт полета не пропал даром. Уже через неделю вороненок, а вскоре и его сестры научились перепархивать на соседние деревья, а потом и летать. Правда, они быстро уставали, им еще предстояло обрести силу для свободного полета вольных птиц.

Отгорели оранжевым жаром последние июньские закаты. С начала июля родители начали обучать воронят навыкам самостоятельной жизни, все дальше и дальше улетаая с ними от гнезда, но неизменно возвращаясь к нему.

У вороненка, теперь уже подростка, рано проснулась тяга к странствиям. Его сестры еще летали вместе с родителями, а он все чаще покидал их, пропадая по нескольку дней кряду, пока наконец не покинул совсем, улетаев вслед последним журавлиным стаям навстречу пугающей и манящей неизвестности, навстречу своей судьбе.

Снежно-ледовые ресурсы мира

В. М. Котляков

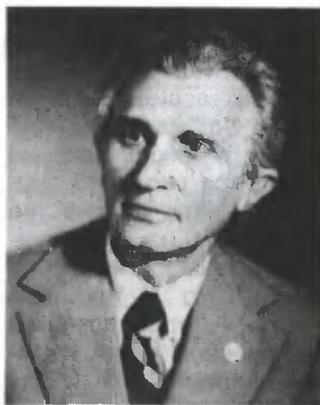


Цепь южноамериканских Анд в снегу. Снимок сделан с борта орбитальной станции «Салют-6». Здесь и далее фотографии из книги: Котляков В. М. Мир снега и льда. М. 1984

ГЛЯЦИОСФЕРА — совокупность снежно-ледовых образований на Земле — играет огромную роль в природных процессах нашей планеты, воздействуя на все прочие земные оболочки. Однако, в отличие от них, гляциосфера весьма изменчива и на некоторых этапах геологической истории, возможно, исчезала совсем.

В значительной степени гляциосфера определяет современную географическую зональность климата, существенно влияя на межширотный обмен воздушных масс. Благодаря своей массе и высоте ледники, и в особенности ледниковые покровы, оказывают сильное воздействие на атмосферу. Их высокая отражательная способность, низкая температура поверхности (всегда ниже 0°C), затраты тепла на таяние льда приводят к тому, что значительная часть поступившей к Земле солнечной радиации отражается в космос, а окружающие массы воздуха заметно охлаждаются. Снег и лед — это не только запасы воды, но и запасы холода, достигающего $2.3 \cdot 10^{24}$ фригорий¹ (при средней температуре Антарктического и Гренландского ледниковых покровов -26°C , по данным глубоких скважин). Запас холода в современных ледниках по абсолютному значению втрое превышает годовой приход тепла к Земле от Солнца.

В современную эпоху в тех областях земного шара на поверхности суши и моря, в атмосфере и литосфере, где господствуют отрицательные температуры, находится около 30 млн км³ льда. Во льдах сосредоточено почти две трети пресных вод на планете — огромное, хотя и исчерпаемое богатство. Общая площадь распространения льда на поверхности Земли и в земной коре, включая районы океана, где встречаются айсберги и плавучие льды, составляет в среднем 100 млн км², или 19.6% земной поверхности² (табл.1).



Владимир Михайлович Котляков, академик РАН, директор Института географии РАН. Географ и гляциолог, занимается проблемами взаимоотношения общества и природы, вопросами современного и будущего состояния снежного покрова ледников в условиях изменяющегося климата. Участник многочисленных экспедиций. Автор ряда монографий и научно-популярных книг. Неоднократно публиковался в «Природе».

© В.М.Котляков

¹ Т.е. калорий тепла, требуемого для полного расплавления ледового покрова.

² Данные в тексте и таблицах базируются на материалах Всемирной службы мониторинга ледников (Цюрих) и Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (М., 1997).

Колебания массы льда существенно влияют на уровень Мирового океана. Так, из Антарктиды и Гренландии в океан поступает в виде льда не менее 8% общего стока со всей поверхности суши, а в Южном океане одновременно находится около 15 тыс. км³ пресного льда — это количество равно поступлению льда из Антарктиды и Гренландии в океан примерно за 5 лет. Несомненно, что в прошлом главным фактором, определявшим крупные колебания уровня, были изменения оледенения на Земле.

Существуют предположения, что нынешний подъем уровня Мирового океана тоже связан с уменьшением оледенения, хотя достоверно это еще не доказано. Все возрастающее антропогенное влияние на природную среду со временем может послужить причиной катастрофического таяния вековых запасов снега и льда. Таким образом, «вечные» льды занимают важное место в проблеме взаимодействия природной среды и человека.

Снег ежегодно покрывает от 100 до 125 млн км²; примерно 2/3 этой территории приходится на сушу, а 1/3 — на морские льды (табл.2). Максимальную площадь снежный покров занимает к концу зимы Северного полушария — 96 млн км², а минималь-

ную — к концу зимы Южного полушария — 44 млн км². Около 17% ежегодно образующегося снега служит источником питания ледников.

Велико влияние снежного покрова на климат, рельеф, гидрологические и почвообразовательные процессы, жизнь растений и животных. В странах умеренного климата талые снеговые воды формируют основную часть стока. Благодаря малой теплопроводности снег предохраняет почву от сильного выхолаживания, а озимые посевы — от вымерзания. Значительные запасы влаги, содержащиеся в снежном покрове, обеспечивают устойчивый урожай, большую роль в этом играет снегозадержание. Воды, орошающие засушливые предгорья, формируются в горах, где снежность в 5—15 раз больше, чем на окружающих равнинах. В Евразии и Северной Америке нередки снежные заносы, и почти все горные страны (даже в тропиках, например Атласские горы в Африке) лавиноопасны. Таким образом, нет ни одного континента на Земле, где бы не было разных видов льда и снега.

КРУПНЕЙШИЙ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

Более 200 лет прошло с тех пор, как геолог О.Б.де Соссюр создал первую классификацию альпийских ледников. Впоследствии гляциология

Площади материков, снежного покрова и ледников.



Таблица 1
Распространение природных льдов на Земле

Тип льда	Масса, т	Площадь, млн км ²	Средняя продолжительность жизни, лет	Доля площади
Ледники и ледниковые покровы	$3 \cdot 10^{16}$	16	10 000	11% суши
Подземные льды	$5 \cdot 10^{14}$	32	30—75	22% суши
Морские льды	$4 \cdot 10^{13}$	26	1.05	7% океанов
Снежный покров	$1 \cdot 10^{13}$	72	0.35—0.52	14% планеты
Айсберги	$8 \cdot 10^{12}$	63	3	19% океанов
Атмосферный лед	$2 \cdot 10^{12}$	510	4 000	100% планеты

стала самостоятельной отраслью науки. В мире существует несколько сильных коллективов специалистов, занимающихся льдами и снегами.

Российская (советская) гляциологическая школа начала формироваться в 30-е годы. Тогда в результате работ по II Международному полярному году (1932—1933) в СССР были поставлены широкие по тому времени эксперименты не только на ледниках Арктики, но и в ряде горных районов (Урал, Кавказ, Тянь-Шань). Материалы этих, а также последующих послевоенных исследований, в особенности во время Международного геофизического года (1957—1958), дали обширный фактический материал, позволивший сформировать оригинальные теоретические подходы.

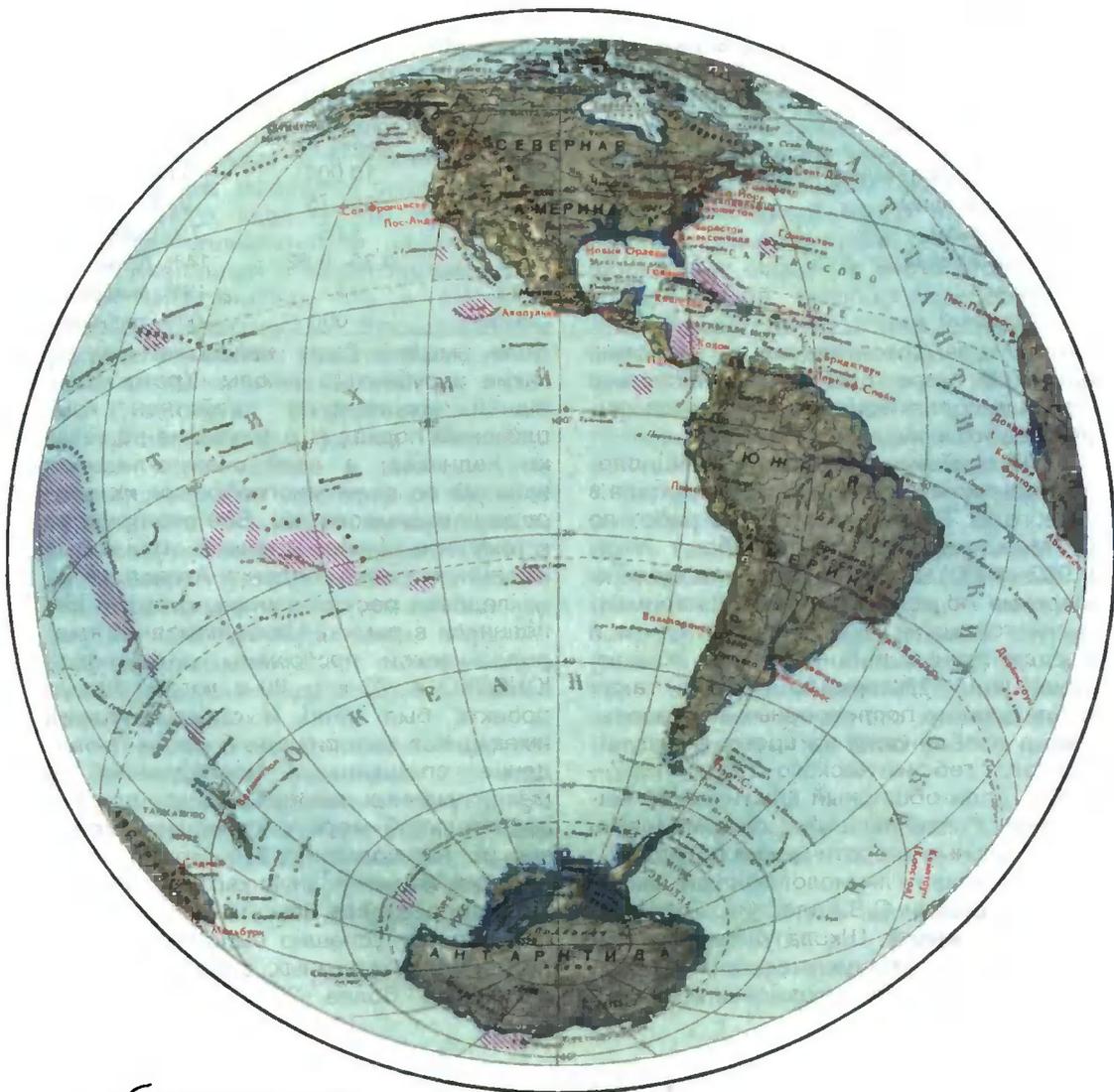
Во главе гляциологической школы в СССР стояли С.В.Калесник, П.А.Шумский и Г.А.Авсюк. Школа удачно сочетала картографо-геодезические и режимно-геофизические исследования и в

этом смысле была непохожей ни на какие зарубежные школы. Кроме того, нашей гляциологии свойствен комплексный подход (т.е. изучение не только ледников, а всех снежно-ледовых явлений во всем многообразии их природных взаимосвязей). Все это привело к тому, что именно в нашей стране был выдвинут проект создания Атласа снежно-ледовых ресурсов мира, который выполнялся в рамках Международной гидрологической программы под эгидой ЮНЕСКО в 70-х и 80-х годах. Целью проекта был сбор и систематизация имеющихся материалов, а также проведение специальных исследований в малоизученных районах земного шара, в значительной мере с помощью космических наблюдений. Так можно было получить более полную картину снежно-ледовых ресурсов Земли.

Проект успешно выполнен, хотя и потребовал огромных сил и в общей сложности более 20 лет работы. В

Таблица 2
Площадь и масса снежного покрова (средние величины)

Снежный покров	Площадь, млн км ²	Средняя аккумуляция, г/см ²	Сезонные массы снега, 10 ¹¹ т
Северное полушарие			
Постоянный на суше	2	25	5
Временный на суше	59	14	83
На постоянном морском льду	9	10	9
На временном морском льду	9	12	11
Южное полушарие			
Постоянный на суше	14	16	20
Временный на суше	2	15	3
На постоянном морском льду	5	18	9
На временном морском льду	15	20	30
Всего	115	15	172



Береговая линия и зона затопления



Острова и архипелаги, уходящие под уровень океана

Мир без ледников. Эта гипотетическая карта составлена на тот случай, если растают все льды и снега планеты. Уровень Мирового океана по расчетам при этом поднимется на 67 м. Красным отмечены крупные города, попадающие в зону возможного затопления.

нем принимали участие более ста ведущих географов и гляциологов бывшего Советского Союза (а всего — около 300 специалистов) — сотрудников 25 научных учреждений. ЮНЕСКО и многие ученые разных стран оказали

широкую научную поддержку созданию Атласа.

В итоге Атлас, представляющий собой собрание из шести книг на русском и английском языках³, вышел

³ Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М., 1997; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М., 1997. Т.2. Кн.1, Кн.2; Программа и методические основы составления Атласа снежно-ледовых ресурсов мира // Материалы гляциологических исследований. Вып. 74. 1992; World Atlas of Snow and Ice Resources. Moscow, 1997. V.2; World Atlas of Snow and Ice Resources. Legends and Explanations. Moscow, 1997.



в свет в 1997 г. и стал достоянием мировой научной общественности. Более того, он представлен в Международную геосферно-биосферную программу, так как в нем отразились некоторые параметры глобальных изменений.

Собственно Атлас состоит из трех частей: вводной, региональной и прикладной. В первую входят мелко-масштабные карты, на которых показано распространение на Земле всех видов природных льдов, занимающих

обширные площади. Основной материал — от мелко-масштабных карт природных областей до планов отдельных ледников, наиболее типичных или важных в хозяйственном отношении, — составляет содержание региональной части. В прикладной показаны конкретные возможности использования снега и льда и борьбы с ними. Атлас содержит около 400 страниц, на которых помещено более 1000 карт.

При составлении карт использовался кадастровый материал: каталоги,



Зима в горах Таджикистана.

справочники, ежегодники, материалы режимных наблюдений по международным программам, сведения о колебаниях ледников, собираемые Всемирной службой мониторинга ледников, массовая гидрометеорологическая информация. Для малоизученных областей, таких, например, как Южная Америка и Центральная Азия, отдельные районы высокогорья и Сибири, использовались наблюдения космонавтов с орбитальной станции «Салют-6», выполненные в 1978—1980 гг. специально для Атласа снежно-ледовых ресурсов мира.

Большинство территорий, освещаемых в Атласе, находятся на значительных высотах и в полярных широтах, где научных станций совсем немного и экспедиционных работ недостаточно. Поэтому в процессе составления Атласа был создан ряд расчетных методов для получения режимных параметров, характеризующих природу малоизученных горно-ледниковых районов. С использовани-

ем разработанных методов впервые построены карты осадков, температурных условий, снежного покрова, стока в высокогорье. Далеко не все, что отражено на картах Кавказа, Памира, Тянь-Шаня и других горных районов, было известно раньше, многие представления уточнены или исправлены.

В основу расчетных методов, позволивших составить карты всего мира, положена концепция нивально-гляциальных систем⁴, включающих ряд природных объектов, сложенных в основном льдом — ледники, наледи, подземные ледяные горизонты, ледяной и снежный покровы и их совокупности. Все элементы нивально-гляциальной системы тесно связаны с температурным режимом окружающей среды и знак связи одинаков для всех

⁴ Нивальный — верхний высотный пояс гор, лежащий выше климатической снеговой границы. Здесь из-за низких температур выпадает меньше осадков, чем в нижележащих поясах. См.: Котляков В.М., Кренке А.Н. Нивально-гляциальные системы Памира и Гиссаро-Алая // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. Вып.35. 1979. С.25—33.

элементов. Зависимость таяния от температуры воздуха достаточно хорошо известна для всех элементов такой системы. Многие связи уже сейчас могут быть описаны количественно, особенно там, где снежно-ледовые процессы происходят на относительно обособленных участках. Однако количественные аспекты связей нивально-гляциальных систем высокого ранга, формирующихся в пределах крупных регионов, еще не разработаны.

Наиболее полное представление о распространении снежно-ледовых явлений на Земле дает гляциологическое районирование. Основные его факторы — широтное положение территории, степень ее континентальности, источник питания влагой, особенности рельефа. Районирование строится по шестиступенчатой схеме с учетом «матричного» наложения таксономических единиц. Различаются: пояс, зона, провинция, область, район, бассейн. Пояса и зоны выделены, исходя из общей географической зональности с учетом развития временных и постоянных снежно-ледовых явлений. Зоны подразделяются на гляциологические провинции и области по характеру циркуляции атмосферы и орографии поверхности. При выделении провинций главным фактором считают источник влаги и поступление ее к тому или иному континенту, а для областей — их совпадение с крупными горами или равнинными территориями, в пределах которых имеются черты единства нивально-гляциальных явлений. При выделении районов исходят из преобладания тех или иных видов снежно-ледовых образований, степени оледенения, его дисперсности или компактности, высотной поясности, особенностей режима и межгодовой изменчивости. Элементарной единицей гляциологического районирования выступает речной бассейн с разной степенью развития в нем снежно-ледовых явлений.

НОВЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ
О СНЕГЕ И ЛЬДЕ

Суммарные сведения. Количественные подсчеты дали следующие

результаты. Суммарная масса снега, генерируемого в атмосфере, без учета испаряющихся в ней снежинок, составляет $17 \cdot 10^{12}$ т. При этом в атмосферу только за счет теплоты замерзания выделяется $4 \cdot 10^{15}$ МДж тепла. Из общей массы снега $11 \cdot 10^{12}$ т поступает на сушу, а $6 \cdot 10^{12}$ т — на поверхность льдов водоемов. На ледниках в многолетний влагооборот входит около $3.4 \cdot 10^{12}$ т снега, из них $2.6 \cdot 10^{12}$ т попадает в океан в виде айсбергов, где тает, поглощая из моря почти $9 \cdot 10^{14}$ МДж/год, а остальные $0.8 \cdot 10^{12}$ т стают на поверхности суши.

Морские, озерные и речные льды при образовании имеют массу около $30 \cdot 10^{12}$ т, к которой добавляется $6 \cdot 10^{12}$ т снега из атмосферы. В заторы и зажоры на реках и торосы на морях попадает около 10% льда, т.е. примерно $3 \cdot 10^{12}$ т, что соизмеримо с объемом ежегодного питания ледников. Наконец, запасы подземных льдов имеют тот же порядок, что и объем морских льдов, но их ежегодное пополнение вряд ли составляет более $3 \cdot 10^8$ т, т.е. 1/1000 от объема.

Это пополнение можно оценить следующим образом. Площадь распространения подземных льдов около 10^8 км². Характерная ширина трещин в них около 1 см, а расстояние между ними около 15 м, так что площадь трещин в 1500 раз меньше всей площади распространения льда. Слой тающего над такими трещинами снега можно оценить в 5—10 см водного эквивалента. Если считать, что половина этой воды идет на наращивание подземного льда, получим $3 \cdot 10^8$ т. Стаивание подземных льдов на современной стадии их деградации может быть на порядок большим. В стационарных условиях период полного оборота подземных льдов около 100 тыс. лет, а при современных условиях они исчезнут примерно за 10 тыс. лет.

Сезонный снежный покров.

Средний слой снеготазпасов на земном шаре равен 20 см водного эквивалента, изменяясь в интервале от 10 до 40 см. Слой снеготазпасов на суше (14.7 см в среднем) вдвое меньше, чем на



морских льдах (29.2 см). Ареал выпадения твердых осадков над морем значительно больше площади морских льдов — примерно 1/3 твердых осадков попадает на водную поверхность и тает. Поскольку ареал снежного покрова на суше вдвое обширнее, чем на морских льдах (соответственно 71 и 36 млн км²), объем снегозапасов в обоих случаях примерно равен — по 10.5 тыс. км³.

Объемы снегозапасов в Южном и Северном полушариях примерно равны — 10.3 и 10.8 тыс. км³. На материках слой снегозапасов убывает с ростом площади снежного покрова (табл.3), что отражает, с одной стороны, возрастание континентальности клима-

та с увеличением размера материков, а с другой — приуроченность небольших площадей снежного покрова на бесснежных территориях к районам с морским климатом.

Подсчеты показали, что Евразия, рельеф которой благоприятен для поступления влаги с западным переносом, получает 75% снега из атлантической влаги, 20% — из тихоокеанской и 5% твердых осадков — с Индийского океана. При этом обратно в Атлантический океан стекает не более 1/4 атлантической влаги. Основная же часть снега атлантического происхождения, растаяв, попадает в Северный Ледовитый океан и внутренние моря среднеазиатской бессточной области.

Туннель в леднике Обручева на Полярном Урале.



Сход снежной лавины со склона хр. Петра Первого на Памире.



Ледниковая «мельница» крупным планом.

Таблица 3
Сезонные снегозапасы на континентах

Континент	Площадь снежного покрова, тыс. км ²	Толщина снежного покрова, см	Объем снега (водный эквивалент), тыс. км ³
Евразия	35 500	11.4	4.06
Северная Америка	18 200	20.5	3.73
Южная Америка	1 300	30.0	0.39
Антарктида	14 100	15.6	2.2
Африка	менее 0.1	—	—
Австралия	менее 0.1	—	—
Всего	69 100		10.38

В Северной Америке количество снега близко к евразийскому, а поскольку площадь этого материка значительно меньше Евразии, роль снежного покрова во влагообороте здесь еще выше. Снег поровну распределяется между тихоокеанским и атлантическим источниками, несмотря на западный перенос, способствующий выносу тихоокеанской влаги в Атлантику. Очевидно, что ему препятствует цепь гор на западе континента.

Максимальная продолжительность залегания снежного покрова характерна для Антарктиды, где сезонные снегозапасы увеличиваются от полюса к границам материка. Область минимального (менее 5 см в водном эквиваленте) снегонакопления сдвинута от полюса к Индийскому океану. Океанические влагоразделы Антарктиды относительно ледоразделов смещены к востоку, т.е. существует постоянный перенос влаги в атмосферу через ледоразделы, и каждый из океанических секторов антарктического льда сформирован влагой, по крайней мере, двух океанов. Положение влагоразделов в основных чертах совпадает с максимальными отметками рельефа ледниковой поверхности, а ледоразделов — с отметками ледникового ложа.

Можно заключить, что 48% приносимых на материк твердых осадков переносятся через океанические водоразделы, чтобы стать источником стока в другие океаны, 10% из них — в Южном полушарии.

Наледи и подземные льды. Наледи — преимущественно сезонное

явление. Максимальные запасы льда в них формируются в конце зимы, а к концу лета они стаивают полностью. Только часть крупных и гигантских наледей подземных вод в Сибири и отдельные наледи в горах Центральной Азии можно отнести к многолетним образованиям. Однако даже в суровых климатических условиях Сибири в конце лета площадь остатков наледей редко превышает 5—10%, а объем — больше 5% от максимальных значений в конце зимы.

Объем наледей подземных и речных вод в Северной Америке составляет около 50 км³, а в Евразии — около 110 км³, т.е. на всем Северном полушарии — около 160 км³. В Южном полушарии наледи — редкое явление, включая и Антарктиду.

Многолетнемерзлые горные породы занимают на Земле около 34 млн км², в том числе в Северном полушарии приблизительно 21 млн км², из них около 11 млн км² приходится на территорию бывшего СССР. Мерзлые породы занимают примерно треть Северной Америки, значительные площади Монголии и Северного Китая. Еще в 50-х годах была подмечена важная особенность их распространения: чем в более рассеянном состоянии содержится лед в земной коре, тем больше его количество, и наоборот — чем больше он сосредоточен в виде крупных сплошных массивов, тем количество его меньше. Общее количество льда в горных породах на Земле достигает 500 тыс. км³.

Ледники и ледниковые покро-

вы. В современную эпоху ледники занимают площадь 16.2 млн км², или 10.9% суши, и имеют массу, равную 98.95% всей массы льда на Земле, что почти в 32 раза больше массы поверхностных вод суши. Средняя толщина ледников 1640±240 м, максимальная из измеренных превышает 4 км. Суммарный ледниковый сток ($2.5 \cdot 10^{12}$ т/год) в 14 раз меньше речного, несмотря на то, что масса ледников в 20 тыс. раз больше массы речных вод. Это объясняется тем, что лед течет в сотни тысяч раз медленнее воды. Период оборота ледникового льда в среднем равен сейчас 9600 лет, а максимальный в центре Антарктиды превышает 200 тыс. лет.

Основные многолетние запасы льдов, сосредоточенные в Антарктике, составляют в водном эквиваленте $23.3 \cdot 10^6$ км³. В Северной Америке вместе с Гренландией эти запасы оценены в $2.43 \cdot 10^6$ км³. Неожиданно много льда в Европе — $21.1 \cdot 10^3$ км³ и относительно мало в Азии — $16.3 \cdot 10^3$ км³, что заставляет предположить важность близости источников питания — океанов — для формирования крупных объемов многолетнего льда. В Андах Южной Америки сосредоточено $12.7 \cdot 10^3$ км³ льда, в Африке — менее 0.4 км³. На крупнейших островах Океании в умеренном и тропическом поясах выявлено более 50 км³ многолетнего льда, на отдельных островах в Южном океане — более 500 км³.

85% массообмена современного оледенения приходится на континентальные ледниковые покровы — 2900 из 3450 км³/год.

Анализ аккумуляции на ледниках в глобальном и региональном масштабах, во-первых, показывает, что они, как правило, превышают сделанные ранее оценки величин не только твердых, но и суммарных осадков в несколько раз. Ледники располагаются в областях максимальных осадков, часто не выявляемых по сети метеостанций.

Во-вторых, величины аккумуляции на ледниках увеличиваются от высоких широт к низким вместе с повышением

влажностерожания воздуха. Ежегодные величины, возрастают от 25 см (в водном эквиваленте) в приполюсном регионе до 100 см на севере Евразийского и Американского континентов и приблизительно до 200 см в среднем на широте 40° на северной периферии горных систем, и до 250 см на широте 30° на южных склонах Гималаев.

В-третьих, характер аккумуляции связан с распределением материков и океанов. На наветренной периферии Американского континента аккумуляция возрастает втрое с приближением к океану, а на западной периферии Евразийского континента она возрастает вдвое — от 150 до 300 см/год при приближении к берегу в направлении потока влаги.

В-четвертых, минимум аккумуляции в Северном полушарии приходится на Центральную Азию. В центре Тибета и с подветренной стороны Памира она снижается до 25 см/год — величины, характерной для приполюсных районов. В Северном полушарии ясно проступает связь повышенной аккумуляции, а значит, и высокой интенсивности оледенения, с климатическими фронтами.

В-пятых, важная особенность поступления влаги в горные страны — ее «струйный» характер, отражающий гидродинамику влажных потоков над сложным горным рельефом. Наиболее интенсивны влажные струи в долинах, обращенных к потокам влаги, особенно когда их входы открыты, а сами долины отличаются прямой. Такие струи проникают и через широкие перевалы.

В-шестых, несмотря на разнообразие климатических условий, в каждой горной стране умеренного пояса область оледенения занимает строго определенную климатическую зону — средняя температура в ней равна 2—5°C.

Комплексным показателем ледниковых климатов служат приводимые в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира карты высоты границы питания ледников. Условия аккумуляции отражены на картах их режима — аккумуляции на



высоте границы питания, а условия абляции в регионе в общих чертах характеризуются средней летней температурой воздуха на фиксированной высоте. Наконец, влияние орографии на распространение ледников отражают обобщенные максимальные высоты и степень оледенения.

ЛЕДНИКОВЫЙ СТОК И КЛИМАТИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОЛЕДЕНЕНИЯ

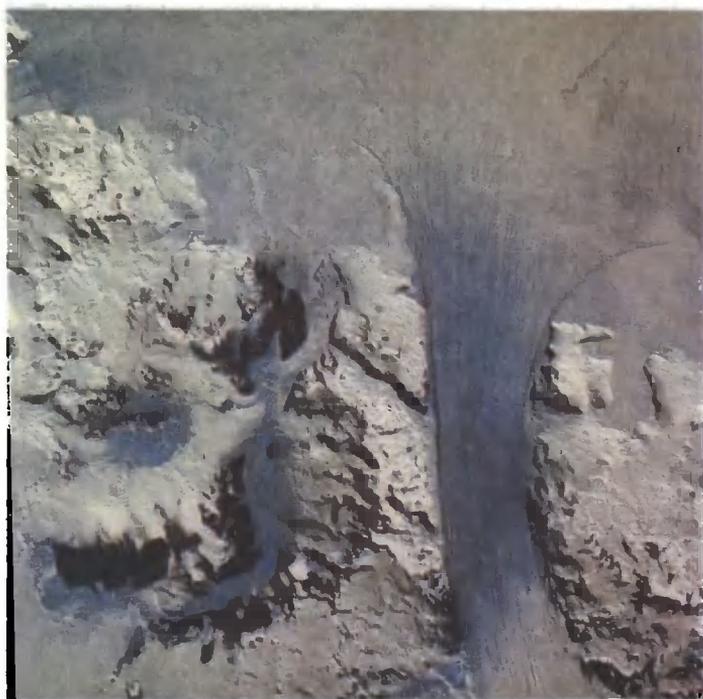
Новая методика оценки ресурсов снежного покрова и его режима в горно-ледниковых районах базируется на данных климатической, гидрологической и снегомерной сетей, используемых совместно с гляциологической информацией о высоте границы питания на ледниках и осадках на этой высоте. Оценены климатические условия существования снежного покрова и выявлены закономерности зонально-

го распределения снегозапасов в разных областях Северного полушария⁵. Разработана методика определения границ устойчивого и неустойчивого снежного покрова, времени его образования, разрушения и продолжительности. Все это вместе взятое позволило составить карты режима снежного покрова разных масштабов практически на все территории земного шара, покрывающиеся снегом.

Природно-обусловленная реализация снежно-ледовых ресурсов происходит через таяние снега и льда. Доля талого стока в общем речном стоке в равнинных и горных районах тесно связана с континентальностью климата. Так, на Памире она местами

⁵ Котляков В.М., Кренке А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1982. № 1. С.5—14; Котляков В.М., Кренке А.Н. // Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1982. Т.18. № 11. С.1215—1229.

В ветровой тени айсберга.



Космический снимок ледника Берда, текущего сквозь Транс-антарктические горы.

достигает 80%, а в речных бассейнах Берегового хребта Северной Америки — около 60%. Вклад ледниковых вод в годовой сток существен лишь в относительно небольших бассейнах с высокой степенью оледенения. Для Кубани ледниковые воды дают 10% стока в высокогорной части бассейна и 6% в замыкающем створе; для Сырдарьи эта величина равна 6.5%. Несмотря на такие небольшие цифры стокообразующий эффект поверхности ледника значителен. Ледниковая поверхность втрое эффективнее для стока, чем вся поверхность водосбора. Особенно ценны ледниковые воды в летнем стоке. В период абляции стокообразующая активность ледников на порядок выше, чем в среднем по бассейнам, и на ледники приходится до 40% стока. Возрастает роль ледниковых вод и в маловодные годы.

Суммарный ледниковый сток, равный в водном эквиваленте 3450 км³, составляет около 8% суммарного стока поверхностных вод в океан (44 700 км³), около 3% осадков на суше (119 000 км³) и превышает сток

в океан подземных вод (2200 км³). Из этой величины 3010 км³ приходится на Антарктиду и арктические острова, 440 км³ — на горные ледники, что равняется 1% поверхностного стока суши.

Ледниковые покровы охлаждают поверхность Земли из-за изменения альбедо. Ледники отражают в космическое пространство около $5 \cdot 10^{16}$ МДж солнечного тепла, что составляет 3.5% всей отражаемой Землей радиации. В результате альбедо нашей планеты возрастает в летнее полугодие на 2%, а в среднем за год на 1% (от 0.29 до 0.30), что приводит к охлаждению приземного слоя воздуха приблизительно на 1°.

В расчете на год общий радиационный баланс ледников составляет $4.8 \cdot 10^{15}$ МДж, или 0.2% солнечного тепла, поглощаемого поверхностью нашей планеты. Затраты тепла на таяние составляют около $3 \cdot 10^{14}$ МДж, т.е. намного меньше, чем теплоотдача на компенсацию радиационного баланса. В целом отток турбулентного тепла из атмосферы в ледники оценивается



Голова окского затора.

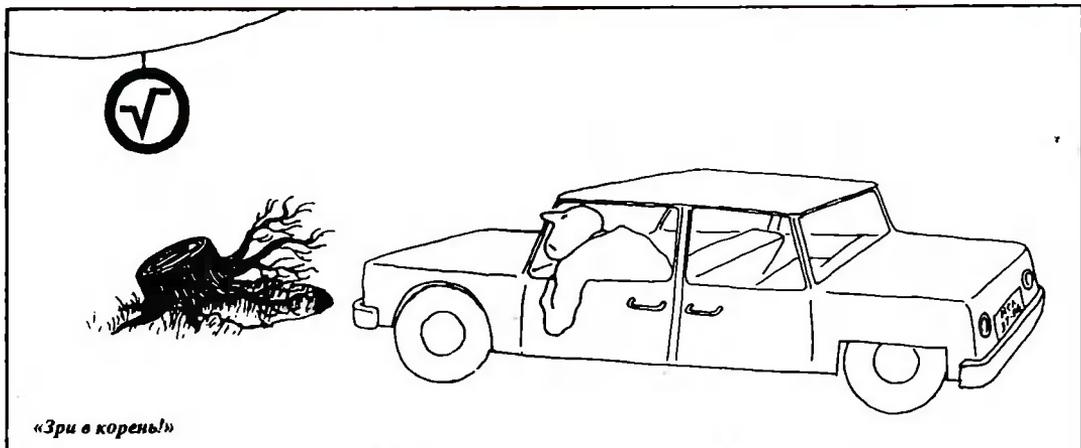
в $5.1 \cdot 10^{15}$ МДж. Такой величины достаточно для охлаждения на 1° всего объема тропосферы Земли. Следовательно, оледенение охлаждает современную тропосферу на 1° в результате повышенного альбедо ледников и еще на 1° вследствие отдачи тепла в них турбулентным потоком, из которого только 6% идет на таяние ледников, а остальные 94% — на их радиационное излучение, главным образом в Антарктиде.

В целом на планете затраты тепла на таяние айсбергов — «сток холода» в океан — превышают $8 \cdot 10^{14}$ МДж/год. Эта величина соизмерима с переносом тепла океаническими течениями. Ледниковый «сток холода», следовательно, оказывает влияние на циркуляцию не только атмосферы, но и океана.

Итак, в целом масса многолетне-

го наземного льда на материках и островах достигает 25.8 млн км³ (в водном эквиваленте), причем примерно 0.01% этого количества ежегодно обновляется. На долю процессов аккумуляции/абляции приходится 3.5 тыс. км³, включая откол айсбергов, на снегозапасы — 20 тыс. км³, на наледи — менее 0.5 тыс. км³. Приблизительно 0.5 млн км³ приходится на подземные льды многолетнемерзлых пород.

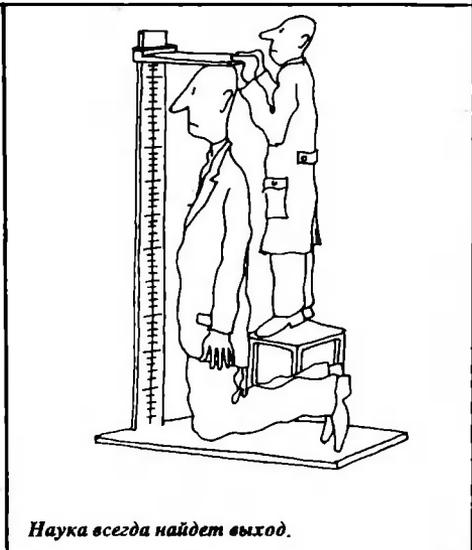
Завершая, подчеркну, что в Атласе снежно-ледовых ресурсов мира проанализирована обширная информация, собранная во всем мире за последние 20—25 лет. Это позволяет не только качественно, но в ряде случаев и количественно оценить значение снежно-ледовых явлений на планете на всех уровнях — от речного бассейна до системы атмосфера—океан—суша—оледенение. В настоящее время в Институте географии РАН на базе материалов Атласа создается географическая информационная система «Гляциология».



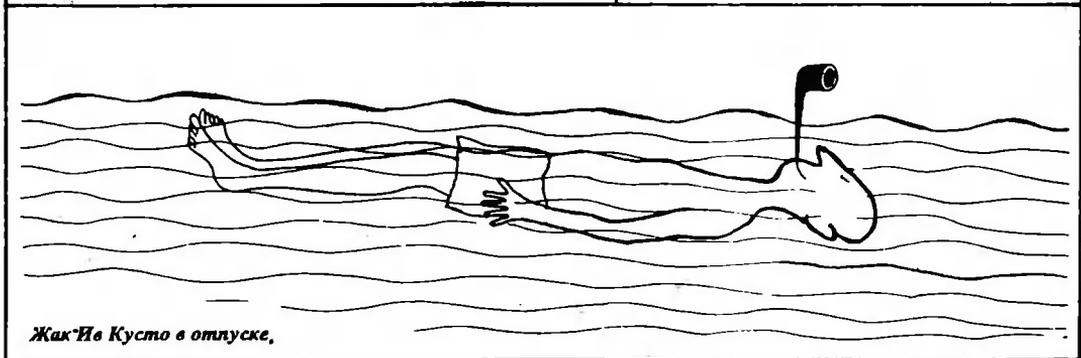
«Зри в корни!»



Ловко устроился.



Наука всегда найдет выход.



Жак-Ив Кусто в отпуске,

Астрономия

Очень большой телескоп начал «смотреть»

Лето 1998 г. порадовало всех астрономов, особенно европейских, тем, что «открыл глаза» гигантский оптический телескоп, сооружающийся на горе Сьерро-Паранал в чилийской пустыне Атакама, в Европейской южной обсерватории. Правда, пока он «открыл» лишь один «глаз» из четырех — вступил в строй первый инструмент с диаметром главного монолитного зеркала 8.2 м. Еще три таких же инструмента будут введены в действие к 2001 г., и тогда этот четырехглазый астрономический монстр станет крупнейшим в мире телескопом, достойным своего имени — Очень большой телескоп (Very Large Telescope, VLT). Впрочем, уже сейчас VLT демонстрирует свои уникальные возможности. В ходе технических проверок и настройки в июне—июле 1998 г. на нем за короткое время были получены великолепные снимки далеких и очень слабых объектов, доступных для наблюдения лишь несколькими инструментами в мире.

На приведенном здесь цветном снимке, сделанном в перерыве между работами по юстировке телескопа, мы видим удивительную галактику NGC 4650 A, удаленную от нас на расстояние около 50 мегапарсек (165 млн световых лет) и принадлежащую к так называемой Цепочке Кентавра — группе галактик, наблюдаемых в южном созвездии Кентавр. Это цветное изображение получено путем совмещения трех снимков, сделанных последовательно через голубой, желто-зеле-

ный и красный светофильтры. Суммарное время экспозиции составило около 1 часа. Размер кадра 1.5×1.5 угл. мин, а мельчайшие детали на изображении имеют размер 0.5 угл. сек.

Галактика NGC 4650 A очень интересует астрономов из-за ее весьма необычной формы. Яркая центральная часть объекта — это нормальная линзовидная звездная система (галактика типа SO), населенная довольно старыми красными звездами. А снаружи почти перпендикулярно плоскости диска этой галактики мы видим облака

газа, пыли и молодых голубых звезд, которые обращаются вокруг старой звездной системы, подобно кольцу Сатурна. Высказывается весьма обоснованное мнение, что это «кольцо» образовалось при разрушении соседней богатой газом звездной системы — спутника центральной галактики. Скорости движения молодых и старых звезд этого конгломерата показывают, что вся его сложная система звезд и газа погружена в невидимое, но очень массивное гало из вещества непонятной природы. Изучив движение звезд в



Первое цветное изображение странной галактики NGC 4650 A (ESO Press Photo 19/98, 23 June 1998).

двух взаимно перпендикулярных плоскостях, астрономы надеются выяснить если уж не природу загадочного вещества, то хотя бы его распределение в пространстве. Новому гигантскому телескопу отводится здесь ведущая роль.

Второй снимок, содержащий множество далеких галактик, демонстрирует «дальнобойность» нового астрономического инструмента. Ведь сегодня VLT — мощный телескоп, способный получать резкие изображения (мультизеркальные американские 10-метровые телескопы Кек I и II, к сожалению, пока на это не способны). Поэтому вполне естественно было устроить одно из первых испытаний для нового телескопа по проверке его дальновзоркости. Направление съемки выбрано не случайно: именно здесь, в южном созвездии Тукана, нет ярких звезд, облаков межзвездной пыли и близких галактик, т.е. нет никаких препятствий, чтобы достичь взглядом самых отдаленных областей Вселенной.

Эту область на небе, названную Глубокой площадкой Хаббла, по единой программе в сентябре 1998 г. исследовали крупнейшие телескопы мира, включая Космический телескоп им.Хаббла. Новый 8-метровый гигант VLT также решили заранее «пристрелять» к этой области. В ночь проведения съемки, 5 июня 1998 г., качество изображения было великолепным — размер мельчайших деталей составил 0.37 угл. сек. Поэтому за время экспозиции, составившее 75 мин, удалось с высокой четкостью зафиксировать изображения галактик до 27.5 звездной величины, т.е. в 400 млн раз слабее тех, что можно увидеть невооруженным глазом. В кадре размером 1.3x1.3 угл.



Глубокая площадка Хаббла — результат первого проникновения VLT в глубь Вселенной (ESO Press Photo 26/98, 31 July 1998).

Планетология

Все-таки нет жизни на Марсе

В 1996 г. в одном из метеоритов, найденных в Антарктиде (ALH 84001), многие специалисты увидели следы «пришельцев» с Марса. Этот метеорит представляет собой обломок Красной планеты, который был выброшен 16 млн лет назад в результате удара о поверхность Марса какого-то небесного тела, а после длительного странствия в космосе упал на Землю 13 тыс. лет назад.

Сенсацию вызвали тогда заявления сотрудников Станфордского университета (штат Калифорния), что в метеорите обнаружены на микроскопическом уровне следы жизни, якобы существовавшей на Марсе в отдаленную эпоху и, может быть, сохранившейся там и поныне. Однако нашлись скептики, полагавшие, что «следы» этих предполагаемых организмов должны были бы сформироваться при столь вы-

мин видно множество очень далеких, а значит, — юных галактик, подробное изучение которых обещает много интересного для астрономии.

Итак, первые шаги нового научного инструмента выглядят весьма внушительно. Возможность работать на нем в первую очередь, разумеется, получат хозяева Европейской южной обсерватории — астрономы Бельгии, Германии, Дании, Италии, Нидерландов, Франции, Швеции и Швейцарии. Но, учитывая весьма сильные интернациональные традиции звездной науки, мы уверены, что и астрономы других стран не будут забыты.

© В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

соких температурах, которые в принципе не допускают биологической жизни.

В январе 1998 г. скептиков поддержала группа ученых, возглавляемых геохимиком Т.Джаллом (Т.Jull; Университет штата Аризона, Тусон, США). Они пришли к выводу о том, что некоторые органические вещества, найденные в составе метеорита (например, содержащие радиоактивный углерод ^{14}C), несомненно, были внесены в изучаемые образцы уже после его попадания на Землю.

В независимой серии анализов, выполненных под руководством Дж.Л.Бада (J.L.Bada; Скриппсовский институт океанографии, Ла-Холья, штат Калифорния), тоже было установлено, что следы аминокислот, служившие важным аргументом для сторонников гипотезы существования жизни на Марсе, принадлежат контаминантам, попавшим в метеорит ALH 84001 во время его длительного соприкосновения с ледяным покровом Антарктиды. Science. 1998. V.279. № 5349. P.362, 366 (США).

Планетология

Внутреннее строение Каллисто

Космический аппарат «Галилео», который стал искусственным спутником Юпитера, совершил три близких пролета около Каллисто — наиболее удаленного от Юпитера галилеева спутника этой планеты.

Результаты радиоволновых доплеровских измерений характеристик орбиты «Галилео», сделанных в ноябре 1996 г. во время первого пролета, были интерпретированы как указание на то, что Каллисто представляет собой недифференцированное тело. Казалось, составляющее его вещество не разделено на оболочки различного состава, а представляет собой однородную смесь льда, воды и каменного материала. Однако более точные измерения, предпринятые в сентябре 1997 г. во время третьего пролета, заставляют пересмотреть этот вывод.

Новые данные свидетельствуют о том, что Каллисто, возможно, имеет ядро радиусом менее 1/4 радиуса этого спутника, но не железное, как у Земли, а из смеси железа и каменного материала. Внешняя оболочка толщиной не более 350 км состоит из льда, а между ней и ядром должна находиться промежуточная оболочка из смеси льда и каменного материала.

Вывод о лишь частичной дифференциации Каллисто согласуется с наблюдениями, раскрывающими характер геологического строения поверхности этого небесного тела: на имеющихся изображениях Каллисто не видно ни следов вулканизма, ни тектонических разломов.

Проведенные «Галилео» магнитометрические измерения указали на отсутствие у Каллисто собственного магнитного поля, что согласуется с выводом об отсутствии у этого спутника металлического ядра.

Science. 1998. V.280. № 5369. P.1573—1576 (США).

КОРОТКО

С августа 1997 г. на побережье Тихого океана около г.Санта-Крус (штат Калифорния, США) начал работать крупнейший в мире центр по спасению морских животных, пострадавших от загрязнения акватории при разливе нефтепродуктов. В этом необычном ветеринарном учреждении одновременно можно оказывать по-

мощь до 122 особям калана и до сотни различных птиц. Их тут моют, сушат, используя специальные воздуходувки, и определяют на временное жительство, пока те окончательно не придут в себя. Каждое из 32 многоместных помещений для каланов снабжено небольшим бассейном. Имеется палата для хирургических операций, а также холодильник для

трупов погибших животных, который главный ветеринар надеется никогда не использовать.

В те периоды, когда пострадавших животных не будет, центр намерен проводить научную работу.

New Scientist. 1997. V. 155. № 2093. P.5 (Великобритания).

Ватасения — кальмар-светлячок

К. Н. Несис,
доктор биологических наук
Москва

В МОРЯХ России водится немало видов кальмаров. Не всякий знает, что среди наших дальневосточных кальмаров много светящихся (а вот среди северных таких нет). Один из самых ярких и привлекательных — маленький кальмар-светлячок, или ватасения *Watasenia scintillans* (Berry). Назван он так в честь японского зоолога С. Ватасе, впервые наблюдавшего свечение кальмара ночью 28 мая 1905 г. (памятная для японцев и для нас дата: день Цусимского сражения!). Он и придумал японское название для него — отару-ика, кальмар-светлячок. А *scintillans* по-латыни — сверкающий, так его назвал американский зоолог С.С. Берри. Ватасе изучал не кальмаров, а жуков-светлячков, но один школьный учитель сообщил ему, что рыбаки из залива Тояма на южном берегу Японского моря издавна ловили кальмаров, которые светятся не хуже жуков. Ватасе поехал туда и убедился. Его доклад на зоологическом конгрессе в Бостоне в 1907 г. произвел сенсацию: зоологи хоть и давно знали о существовании у кальмаров органов свечения, но своими глазами их живого света никогда не видели. С тех пор и до сего времени ватасения привлекает на берега залива Тояма тысячи туристов, мечтающих полюбоваться свечением и закусить све-

жим кальмаром. Ватасения изображена даже на японской почтовой марке (голубого цвета, 35 иен).

Ватасения — маленький кальмар, длина туловища самцов до 6 см, самок — до 7, общая длина со щупальцами около 15 см. Мантия коническая, плавники ромбические, расположены в задней половине тела и немного не доходят до хвоста. Все руки вооружены несколькими парами острых крючьев, а первые три пары рук — еще и двумя рядами мелких присосок на концах. Щупальца длинные и тонкие, на них два крупных крючка и много мелких присосок. Ротовая перепонка, соединяющая руки ко рту, темно-фиолетового цвета, — вероятно, для того, чтобы схваченная и подтянутая ко рту светящаяся добыча предсмертной вспышкой не демаскировала кальмара. Окраска кальмаров сверху красновато-коричневая, снизу более светлая, но они могут мгновенно менять цвет и становиться то темно-красно-фиолетовыми, то почти прозрачными. Смена окраски обусловлена работой микроскопических мешочков с пигментом — хроматофоров, которые снабжены мышцами и нервами и могут по сигналу от мозга сокращаться в точку («всунушку») или расширяться в цветное пятно.

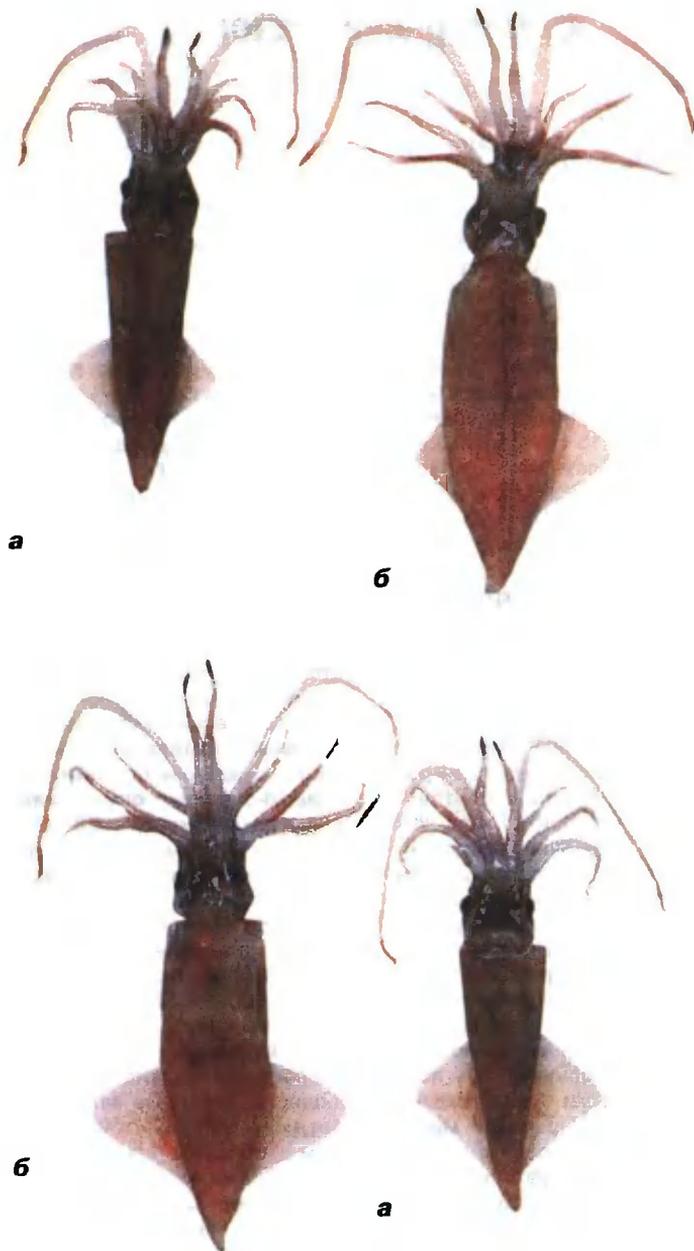
Кальмар-светлячок распространен в северо-западной части Тихого океана, от южных Курильских о-вов до о. Сикоку и Цусимского пролива, а также на крайнем юге Охотского, в центре, на востоке и юге Японского моря (у

берегов Японии и Кореи). Обитает как в толще воды неподалеку от берегов, вблизи склона и подводных возвышенностей, так и в открытом океане, особенно в теплом течении Курисио восточнее Японии и Южных Курил. В отдельные годы ватасения достигает особо высокой численности — 20 кг, или около 6000 экз. на час траления (средний вес ватасении приблизительно 2.5 г) и тогда распространяется вдоль всех Курильских о-вов с охотоморской и океанской стороны, хотя севернее Средних Курил немногочисленна. Ватасении совершают суточные вертикальные миграции с ночным подъемом к поверхности и опусканием днем на глубины от 80—100 до 500—1000 м. Вследствие этого в верхних слоях воды их концентрация и биомасса намного выше ночью, чем днем, а в глубинах — наоборот. Нижний предел обитания — 1000—1200 м, у дна в норме не живут¹.

Ватасении — активно плавающие мелкие стайные хищники. Молодые кальмары поедают зоопланктон, главным образом веслоногих рачков; взрослые добавляю к ним криля (эвфаузиид), бокоплавов, мелкую рыбу и кальмаров. С возрастом увеличивается максимальный размер добычи, минимальный не меняется². Половоз-

¹ Зуев Г.В., Несис К.Н. Кальмары (биология и промысел). М., 1971.

² Hayashi S., Hirakawa K. // Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst. 1997. № 47. P. 57—66.



релость наступает у самцов и самок при длине мантии около $2/3$ максимальной длины туловища (у самок около 45 мм, у самцов 35 мм), так что в период размножения питание и рост приостанавливаются, но не прекращаются.

Светлячкам положено светиться. Органы свечения ватасении — фотофоры — очень многочисленны, особенно у самок (от 850 до 1100 с лишним). В абсолютном большинстве это — мелкие кожные фотофоры, разбросанные по всей нижней

Кальмар-светлячок ватасения (Watasenia scintillans): самец (а) и самка (б), вид сверху и снизу.

стороне мантии, головы, воронки и брюшных рук. От них свободна только узкая продольная полоска посредине брюшной стороны мантии. Немного фотофоров рассеяно и на спинной стороне тела. Эти крохотные шарики очень сложно устроены: трех размеров и трех типов; красные, голубые и зеленые; простые, с линзой и с цветным фильтром. Во всех мелких фотофорах есть светоизлучающее ядро с клетками-фотоцитами, нижний и боковой отражатели (рефлекторы), волокна-световоды, кристаллоподобные тельца, кровеносные сосуды, нервы и много чего еще. Снизу и с боков они окружены слоем хроматофоров, содержащих цветной пигмент. У фотофоров с линзой, как показывает их название, имеется мощная линза, а у фотофоров с фильтром — толстый двойной цветной фильтр красного цвета. Но и это еще не все. На прикрытой прозрачной кожей брюшной стороне глазного яблока располагается ряд из пяти круглых ярко-желтых фотофоров, крайние крупнее средних, у них нет линзы и фильтра, но есть высокоразвитая система волоконной оптики³. Наконец, на концах обеих брюшных рук (они заметно длиннее прочих) — по три крупных шаровидных фотофора, которые обычно сплошь закрыты пигментом и выглядят как черные жемчужины, а когда открываются — зеленые. Голубовато-белый свет фото-

³ Young R.E., Bennett T.M. // The Mollusca. 1988. V.12. P.241—251; Gleadall I.G. et al. // Zool. Sci. Tokyo, 1992. V.9. № 6. P.1228.

форов на концах брюшных рук очень яркий, возникает, когда черная пигментная ширма открывает фотофор, и это выглядит как вспышка зажженной в темноте спички. Она длится 20—30 сек и освещает пространство сантиметров на тридцать вокруг. Затем пигмент снова расширяется и закрывает свет. Плавающая, кальмар оживленно двигает незаметными в темноте руками, так что наблюдатель видит лишь мечущиеся огоньки. Японский зоолог К.Исикава сравнивал их с искрением размыкающихся электрических контактов. Впечатляющее зрелище! Свет глазных и особенно кожных фотофоров гораздо слабее.

Разные фотофоры, в том числе каждый из трех фотофоров на брюшных руках, могут функционировать одновременно или порознь. Свечение фоточитов включается и выключается через кровь (усиление или ослабление поставки необходимого для свечения кислорода), но этот процесс длительный, куда быстрее по сигналу от мозга открыть или закрыть хроматофорную пигментную ширму. В целом светящийся в темноте кальмар напоминает микроскопический ярко иллюминированный пароходик, подмигивающий разноцветными огоньками.

Для чего нужны столь многочисленные и разнообразные органы свечения? Основная функция мелких кожных фотофоров — вентральное противосвечение, маскировка силуэта кальмара при взгляде на него хищника снизу на фоне светлого неба, которое днем, на глубине, освещено солнцем, а ночью, в верхних слоях воды — луной. Яркость и, до некоторой степени, цвет свечения органов соответствует освещенности на той глубине, где находится кальмар. За эту «подгонку» ответственны спе-



Почтовая марка Японии с изображением кальмара-светлячка.

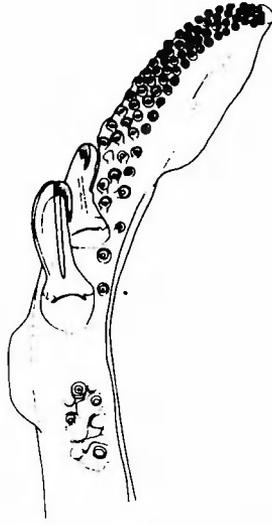
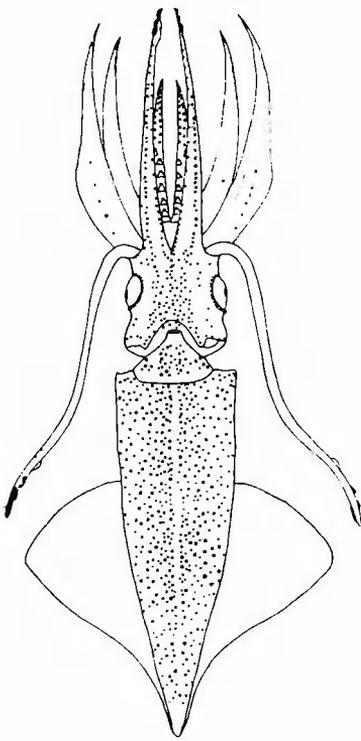
циальные органы зрения — внеглазные фоторецепторы, расположенные в голове кальмара сверху и сзади. Над ними в плотном слое красных и коричневых хроматофоров имеются специальные округлые прозрачные «окошки». При правильной подгонке света фотофоров к внешнему освещению кальмар при взгляде снизу совершенно исчезает, по крайней мере для человеческого глаза. Яркий свет фотофоров на концах брюшных рук, вероятнее всего, — сигнал самки самцу или наоборот, а также средство связи и передачи информации между соседями по стае. Но для чего разные фотофоры светят (сами или через цветной фильтр) разными цветами?

Свечение ватасении биохимическое: обычная для большинства светящихся животных реакция окисления белка люциферина (люцифер по-латыни — несущий свет) молекулярным кислородом, катализируемая ферментом люциферазой. Люциферин-люциферазное свечение зеленовато-голубое, максимум лучеиспускания на длине волны 496 нм. Но в фотофорах ватасении имеются два типа светящихся веществ с

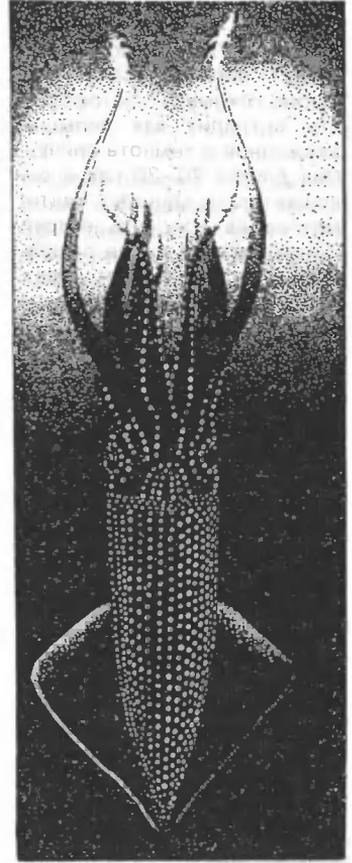
ма лучеиспускания. Кроме того, цвет свечения мелких кожных фотофоров меняется в зависимости от температуры воды: при температуре ниже 7°C (днем, на глубине) он сдвигается в синюю сторону спектра, до длины волны 470 нм (голубое свечение), выше 15° (ночью, у поверхности) — в красную сторону, до 540 нм (желтовато-зеленое). Свечение глазных фотофоров светло-голубое.

Недавно выяснилась еще одна интересная особенность кальмара-светлячка. Все головоногие моллюски не различают цветов, но — не ватасения! Внутри ее глаз, на брюшной стороне, по соседству с глазными фоторами, есть сильно утолщенный (0.6 мм) участок сетчатки с длинными воспринимающими свет клетками. Дистальная (направленная к центру глаза) часть сетчатки, 2/3 ее толщины, желтого цвета и содержит зрительный пигмент на основе 4-гидрокси-ретиналя с максимумом поглощения на волне 470 нм, а проксимальная треть — розовая и содержит пигмент на основе дегидрокси-ретиналя, максимум поглощения 500 нм. Внеглазные фоторецепторы содержат третий зрительный пигмент, на основе ретиналя с максимумом поглощения 484 нм; он же содержится и в рецепторах сетчатки глаза за пределами утолщенного участка. Толстый желтый слой рецепторов брюшной части сетчатки работает как коротковолновый фильтр, он сдвигает максимальную чувствительность рецепторов розового слоя еще дальше в красную часть спектра⁴, до 550 нм. Итого —

⁴ Kito Y. et al. // Zool. Sci. Tokyo, 1987. V.4. № 6. P.1107; Michinome M. et al. // Zool. Sci. Tokyo, 1991. V.8. № 6. P.1036; Michinome M. et al. // J. Experim. Biol. 1994. V.193. P.1—12.



Слева — светящиеся органы самца (глазные органы прикрыты кожей и не показаны); в центре — булава щупальца; справа — светящаяся самка.



три рецептора с разной спектральной чувствительностью: примитивное, но несомненно цветное зрение, причем без воспринимающих цвет колбочек, как в нашем глазу!

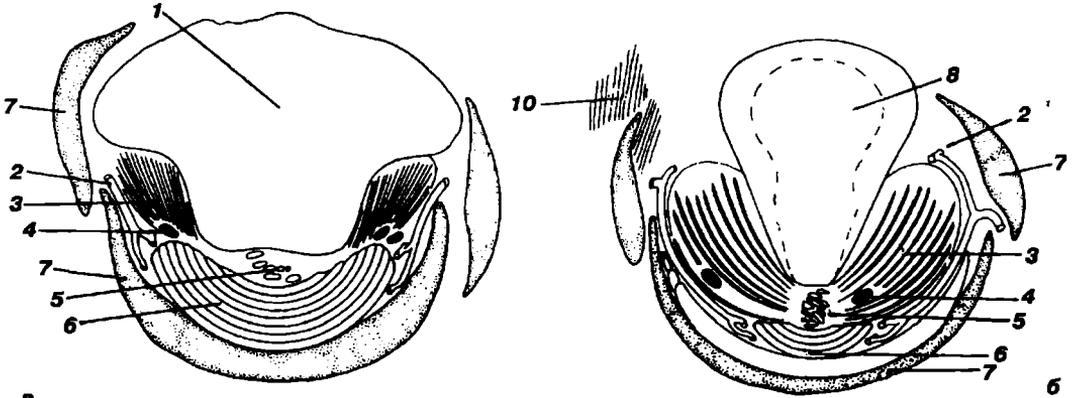
Что привлекает туристов — так это нерест кальмаров-светлячков. Ранее считалось, что они размножаются только у поверхности вблизи берега. Основное нерестилище расположено именно там, где впервые видели свечение кальмаров: в глубоководном заливе Тояма у о.Хонсю, где подводный склон крутой и наблюдается подъем глубинных вод. Там кальмары с конца марта до начала июня подходят к берегу. Днем на глубине около 250 м они спариваются, а с закатом самки (только

самки!) быстро поднимаются к поверхности, огромными стаями тянутся к берегу и у самого берега мечут яйца, а еще до полуночи возвращаются на глубины.

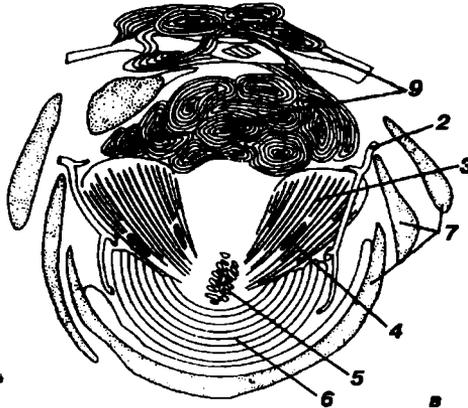
Однако летом 1992 г. мне довелось наблюдать в Тихом океане совершенно зрелых самок и самцов кальмара-светлячка в толще воды вдали от берегов, юго-восточнее о.Шикотан (Малая Курильская гряда). Они ловились тысячами и в эпипелагиали (0—50 м), и в мезопелагиали (200—500 м), но основное нерестилище было как раз в мезопелагиали. В улове были исключительно зрелые особи, в основном самки (почти в 10 раз больше, чем самцов), все они спаривались и имели текущую икру⁵.

Если взять всю область распространения ватасении, то размножение происходит круглогодично. Наиболее интенсивное спаривание — весной (с февраля по апрель), наиболее интенсивный нерест — весной и летом. При спаривании кальмары сближаются голова к голове и самец передает самке сперматофоры (сложно устроенные самооткрывающиеся пакеты со спермой) специально видоизмененной правой брюшной рукой. На ее конце есть особый зажим с тремя полулунной формы выступами, отдаленно напо-

⁵ Несис К.Н. // Океанология. 1994. Т.34. № 3. С.410—416; Nesis K.N., Nikitina I.V. // Russian J. Aquatic Ecol. 1995. V.4. № 1. P.9—24.



а
Строение органов свечения (фотофоров) кальмара-светлячка ватасении: а — простой фотофор, б — фотофор с линзой, в — фотофор с фильтром; 1 — ядро фотофора, 2 — кровеносный сосуд, 3 — световоды, 4 — ядро светозлучающей клетки (фотоцита), 5 — кристаллоиды (кристаллоподобные тельца), 6 — нижний (базальный) рефлектор, 7 — хроматофор (цветная пигментная клетка), 8 — линза, 9 — фильтр, 10 — боковой рефлектор.
 (Young R.E., Bennett T.M. *The Mollusca*. 1988. V.12. P.243—246.)



минающий перчатку с тремя короткими пальцами. Этой рукой он подхватывает выходящие из воронки сперматофоры и помещает их внутри мантии самки, в очень странном месте: в двух специальных углублениях вроде карманов на «затылке» самки, под головным воротничком по обе стороны затылочного хряща. В каждом кармане плотно упакована толстая пачка семенных пакетов⁶. На сем роль самцов кончается, и они погибают. На нерестилищах многочисленные самки все оплодотворенные. К концу периода размножения самцы полностью исчезают.

Яйца мелкие, овальные, в среднем 1.5x1.2 мм, прозрачные, быстро разбухают в морской воде. В отличие от абсолютного большинства кальмаров и от всех каракатиц, у ватасении отсутствуют нидаментальные железы — крупные, белого цвета, которые у половозрелых самок других кальмаров занимают всю середину брюшной стороны мантийной полости и выделяют густую, плотную, сильно разбухающую в воде слизь, наружную оболочку яйцевой кладки. Зато у ватасений очень развиты яйцеводные железы, выделяющие легкую слизь, которая у других кальмаров составляет внутреннее содержимое кладки. Поэтому

обычной яйцевой кладки у ватасении нет. Ее яйца заключены в легкий прозрачный секрет яйцеводных желез, выходят из мантийной полости двумя слизистыми ниточками через две щели по бокам шеи и по пути оплодотворяются хранящейся в карманах спермой. Яйца в слизи располагаются одно за другим, как цепочка прозрачных жемчужин на длинной нитке. Секрет яйцеводных желез легче воды, и обе слизистые цепочки поднимаются от шеи кальмара вертикально вверх. В воде слизь быстро разрушается, и яйца плавают поодиночке, окруженные студенистым чехольчиком. Нерест порционный, самка выметывает яйца несколько раз. В одной

⁶ Burgess L.A. // *Smithson. Contribs Zool.* 1998. № 586. V.II. P.271—276.

порции 400—600 яиц, а общая плодовитость самки 5—10 тыс. яиц. Развитие с личиночной стадией. Личинки обитают в верхних слоях воды и далеко разносятся течениями. Постепенно они погружаются на глубину и начинают совершать суточные миграции. Рост быстрый, продолжительность жизни около года (у самцов в среднем на месяц меньше, чем у самок)⁷.

Ватасению добывают в небольшом количестве, приблизительно 1—4 тыс. т в год. Ловят только зрелых самок в период размножения (март—июнь), преимущественно вдоль япономорского

⁷ Hayashi S. // Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology. Tokyo, 1993. P.173—178; Nesis K.N. // Ruthenica. 1996. V.6. № 1. P.23—64.

побережья Хонсю⁸. Промысловый лов ведут ставными и закидными неводами. Как ни странно, такой маленький кальмар пользуется спросом в свежем и мороженом виде и продается даже на знаменитом на весь свет Токийском оптовом рыбном рынке, хотя еще в начале нашего века улов шел только на удобрение полей. Кроме промышленного, есть и любительский лов, и именно на него собирается масса туристов из разных мест Японии. Они любят ярким свечением кальмарчиков, прямо у берега ловят икрачных самок ручными сетками, тут же готовят их и едят, часто — сырыми. Этот ритуал

⁸ Nishida H., Uchiyama I., Hirakawa K. // Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst. 1998. № 487. P.37—49.

японцам очень нравится. Кажалось бы, что тут можно есть, кальмарчик-то с палец длиной? Но лузгаем же мы семечки и грызем кедровые орешки, куда как мельче!

Кроме человека, ватасенией питаются многие морские рыбы, млекопитающие и птицы, в том числе минтай, треска, скумбрия, морские котики, дельфины, усатые киты, а также крупные кальмары. Погибшие после нереста ватасении опускаются на дно, и их поедает донные животные.

Вот такой интересный маленький кальмар водится в наших дальневосточных морях. Жаль только, что у нас, в отличие от Японии, он не подходит к берегам, и, чтобы полюбоваться им, надо выходить на траулере в открытое море.

НОВОСТИ НАУКИ

Палеоантропология

Положение неандертальца в родословной человека

Немецко-американская группа генетиков, возглавляемая С.Паабо (S.Paabo; Мюнхенский университет) изучила короткий отрезок митохондриальной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), экстрагированной из костных останков неандертальца. Митохондрии наследуются от матери, поэтому, исследуя структуру митохондриальной ДНК, можно судить о генофонде предков по материнской линии.

Останки неандертальца были обнаружены на территории Германии еще в 1856 г. Их возраст около 30 тыс. лет. Сравнение с соответствующей

ДНК современного нам человека подтверждает гипотезу ряда палеоантропологов, согласно которой неандерталец отнюдь не был предком *Homo sapiens*. По данным, основанным на анализе митохондриальной ДНК, родиной современного человека была Африка. Это подкрепляет теорию, гласящую, что *H.sapiens*, сформировавшись на Черном континенте 100 тыс. лет назад, затем распространился по земному шару, вытесняя и заменяя собой неандертальца. Напомним, что локализация неандертальца жестко приурочена к Европе. Результаты работы мюнхенских исследователей показывают, что ДНК неандертальца и современного человека «разошлись» между собой около 600 тыс. лет назад.

Ознакомленный с этой

работой антрополог К.Б.Стрингер (C.B.Stringer; Британский музей, Лондон) подчеркивает, что ее результаты свидетельствуют в пользу утверждений, будто скрещивания между прямыми предками современного нам человека и неандертальцами не происходило. Известный антрополог М.Х.Вольфов (M.H.Wolpoff; Университет штата Мичиган, Анн-Арбор, США) считает подобные выводы преждевременными, пока не будут изучены другие образцы ДНК неандертальцев и понят смысл различных вариаций в их последовательностях. Он по-прежнему полагает, что человек сформировался примерно 2 млн лет назад в различных регионах Земли.

Cell. 11 July 1997; Science News. 1997. V.152. № 3. P.37 (США).

Десять историй о математиках и физиках

(с авторскими резюме)

В. П. Смилга

ИСТОРИЯ ШЕСТАЯ

Одна из самых знаменитых теорем математики — великая теорема Ферма. Она почти столь же известна, как теорема Пифагора.

Читатели помнят, конечно, что теорема Пифагора $a^2 + b^2 = c^2$ имеет бесконечное множество решений, когда a , b , c — целые числа. Простейший пример: $a=3$, $b=4$, $c=5$. Умножая обе части уравнения на квадрат любого целого числа, сразу получаем бесконечный набор целых же решений. Он описывает, конечно, семейство подобных треугольников. Каждую тройку целых a , b , c , удовлетворяющих уравнению, называют пифагоровой тройкой.

Легко можно найти и все принципиально различные пифагоровы тройки, а именно такие тройки, когда a , b , c не имеют общего делителя¹.

Например (5, 12, 13); (7, 24, 25) ... (51, 140, 149) и т.д. Естественно, возникает мысль о возможности обобщения задачи. Существуют ли решения в целых числах для уравнений $a^3 + b^3 = c^3$; $a^4 + b^4 = c^4$ и вообще для уравнений вида $a^n + b^n = c^n$, где n также целое число?

Понятно, что постановка задачи и естественна, и совершенно элементарна.

А дальше... дальше начинается детектив. Со всей ответственностью можно сказать: ни один из тысяч авторов детективного жанра не придумал интриги, хоть отдаленно подобной истории с великой теоремой Ферма.

Итак; Ферма доказал: ни одно уравнение вида $a^n + b^n = c^n$, где $n > 2$, не имеет решений в целых числах.

Но! Пьер Ферма за известностью

не бежал и работ своих практически не публиковал. Писал крайне скупо; о многих своих результатах сообщал только друзьям в письмах, причем часто без доказательств.

Он работал в Тулузе советником суда, великолепно знал латынь, древнегреческий, испанский, итальянский. Развлекался сочинением, говорят, недурных стихов на французском, латыни, испанском; для отдыха читал древних авторов. А также занимался математикой. И слегка натурфилософией (т.е. физикой).

Результаты его и идеи в точных науках могли бы блестяще оправдать многолетнюю работу большого и высококлассного академического института. Да, честно говоря, и сравнивать как-то неловко... Нет сейчас столь мощного научного центра. Ни у нас, ни в басурманских краях.

Ферма, как мы уже говорили, отчетов не составлял, с удовольствием переписывался с теми несколькими друзьями, кто был в состоянии его понимать (в частности, с Блезом Паскалем). Формулировал проблемы, решал задачи, которые порой предлагали его корреспонденты. Именно в переписке Ферма и Паскаля как-то между прочим возникли основы теории вероятностей.

Похоже, грязь и мерзости того времени (поверьте, тогда их было не меньше, чем в наши дни) обошли Пьера Ферма стороной, и его вселенная существовала параллельно изрядно гнусному миру королей, кардиналов, солдат и монахов, практически с ним не соприкасаясь.

Пьера Ферма, в отличие от мушкетеров Дюма (его современников), не очень волновали бесконечные войны, гражданские и внешние, и как-то поразительно небрежно, даже равнодушно относился он к славе, прижизненной и посмертной.

Окончание. Начало см. в № 10 и 11.

© В.П.Смилга

© Рисунки Л.А.Максимова

¹ См., напр.: Курант Р., Роббинс Г. Что такое математика? М.; Л., 1947. Гл.1. § 1.



На этой волшебной картинке нарисован призрак Пьера Ферма. Таким он обычно являлся математикам всего мира. Увидев текст закланания — великой теоремы, математики тряслись от страха и плакали от обиды, как дети. Читатель может все это проверить, показав картинку знакомому математику.

Тут подходящий момент, чтобы взглянуть на то, как завязывается детектив. В начале XVII в. был издан на латыни труд древнегреческого математика Диофанта «Арифметика». К счастью для математики, у издания были весьма обширные поля.

Ферма очень детально штудировал книгу, а на полях делал заметки, приводя без доказательств новые теоремы, им полученные. Иногда, но отнюдь не всегда, он упоминал об идеях доказательства.

Вообще-то он собирался как-нибудь написать сочинение, в котором обещал обогатить арифметику... Но, увы, единственное, что осталось, — заметки на полях Диофанта и письма к коллегам, где он также формулировал теоремы без доказательств.

В те времена так было принято. Порой даже рассылались «открытые письма» математикам. Вот вам, коллеги, теорема. Попробуйте! Докажите!

Как бы то ни было, после того как сын Ферма издал труд Диофанта с пометками отца на полях, более 100 лет крупнейшие математики доказывали теоремы Ферма. Запомним: ни разу он не ошибся. Все теоремы оказались верны, исключительно важны для теории чисел и в конце концов были доказаны.

Все, кроме «великой теоремы». И нелишне отметить, что на полях Ферма написал вот что: «Я располагаю поистине чудесным доказательством, но поля слишком узки, чтобы его можно было на них поместить».

Постепенно среди математиков стал распространяться «синдром великой теоремы» — род тихого помешательства, порой приводившего в психиатрические больницы. А когда в начале нашего века некий немецкий математик завещал 100 тыс. марок тому, кто докажет ее, психоз стал обвальнoй пандемией. И тысячи доказательств обрушились на академии.

Между тем профессионалы развивали новые и новые методы. К началу нашего столетия теорема Ферма была доказана для не слишком больших n . Тогда называли $n \leq 100$; в книге Р.Куранта указано $n \leq 619$. Наконец, в статье Ю.П.Соловьева² приводится, видимо, последнее достижение — $n \leq 4 \cdot 10^6$. Все доказательства упоминательно сложны, многие из них получены с использованием современной математической техники.

Возникла и быстро стала весьма популярна новая идея. Именно: теорема, возможно, и верна, но Ферма-то ошибался — не мог он ее доказать! Ему просто примерещилось! Рассказывают, что примерно схожая логика была у некоего историографа Гёте, педантичного, дотошного немца. Гёте написал: «В это время я был страстно

² Соловьев Ю.П. Гипотеза Таниями и последняя теорема Ферма // Соросов. образов. журн. 1998. № 2. С.135.

влюблен в фройляйн N». Комментарий: «Гёте ошибается, в это время он любил совсем другую женщину».

Далее следуем статье Соловьева.

Как и положено, финал всей истории оказался в классических традициях детективного жанра.

В 1955 г. молодой японский математик Ю.Танияма предложил (но не доказал) замечательную теорему в совершенно другой, казалось бы, области современной математики. Не будем уточнять в какой, так как употребление ученых слов без понимания их смысла приносит только вред. А суть мы здесь пересказать не сможем. Теорема эта стала известна как «гипотеза Таниямы». Сам Танияма, к несчастью, скончался через три года (в 1958 г.), а на его теорему примерно двадцать лет не обращали внимания. Потом она стала довольно модной. Прошло еще лет десять, и немецкий математик Г.Фрэй предложил новую теорему: если верна гипотеза Таниямы, то верна и последняя (великая) теорема Ферма. Или: теорема Ферма есть следствие гипотезы Таниямы. Но доказать свое утверждение он, увы, не смог.

Понятно, что теперь гипотеза Таниямы привлекла внимание математиков всего мира, и следующий акт пьесы переносит ее действие в Америку. Именно американский математик К.Рибет строго доказал теорему Фрэя. Но сама гипотеза Таниямы (а значит, и теорема Ферма) по-прежнему оставалась недоказанной.

Прошло еще восемь лет, прежде чем американский математик Э.Уайлс сообщил, что нашел доказательство гипотезы Таниямы. Это произошло в 1993 г. Однако в работе Уайлса довольно скоро обнаружили неточности, и потребовался еще год, чтобы он сам вместе с Р.Тейлором дали, наконец, безупречное доказательство гипотезы Таниямы и тем самым доказали теорему Ферма.

Между прочим, доказательство их занимает 150 страниц.

Итак, доказательство — итог оригинальных работ пяти математиков всего мира. К великой теореме продирались подобно

тому, как альпинисты всех стран последовательно штурмовали вершину Эвереста. Но, как и должно быть в классном детективе, главная загадка осталась: как сам Ферма доказал теорему?

В том, что он доказал, у меня нет сомнений. И пусть специалисты дружно утверждают обратное.

А пути небожителей простым смертным неведомы.

ИСТОРИЯ СЕДЬМАЯ

Во второй половине XVII в. Исаак Ньютон выполнил серию фундаментальных исследований природы света. Причем в первую очередь он экспериментировал. Экспериментатор Ньютон был блестящий и не только придумывал «критические», решающие эксперименты, что едва ли не главное для экспериментатора, но и выполнял работу лаборанта, в частности шлифовал стекло.

Он получил фундаментальные данные о дифракции, интерференции, поляризации и преломлении света, четко установил периодический характер свойств света — иными словами, показал, что свет имеет все характеристики волнового процесса.

В итоге,.. Ньютон предположил: свет — это поток неких мельчайших частиц. Правда, тут он несколько изменил своему девизу: «Гипотез не измышляю». Но это не суть важно.

Мы не можем, к сожалению, здесь рассмотреть те доводы, что привели Ньютона к его поразительной догадке. Конечно, Ньютон — гений, но это мало что проясняет. Можно лишь произносить всякие изумленные речи.

То, что свет ведет себя и как волны, и как частицы одновременно, мы представить себе не в состоянии. И через 300 лет после Ньютона мы никак не продвинулись в понимании, если под ним разуметь наглядную картину.

Возникла квантовая механика. Мы убедились, что вся «тяжелая» материя (электроны, протоны, нейтроны, атомы) также имеет свойства волн; обнаруживаем это в сотнях экспериментов... Но, повторимся, как и Ньютон, мы не только не в состоянии примыслить

(для утешения!) какой-либо зрительный образ; хуже того, у нас нет мало-мальски приемлемой логической схемы, которая позволила бы как-то связно интерпретировать природу, сущность наблюдаемых чудес.

Рецепты квантовой теории великолепны, работает она изумительно, но... В известном отношении физики наших дней напоминают терапевтов старой школы. Хороший врач мог прекрасно диагностировать заболевание, прописать больному эффективное лекарство, вылечить, наконец. Но как, почему лекарство сработало... каков биохимический механизм действия, не имел никакого представления.

Понятно, у физиков подобное состояние дел не вызывает восторга, и к этому мы еще под конец вернемся.

А сейчас запомним: все началось с Ньютона 300 лет тому назад, и то, что нейтроны ведут себя и как частицы, и как волны, не более удивительно, чем такое же поведение квантов света. Свойство это порой обозначают учеными словами: корпускулярно-волновой дуализм. Слова эти обожают философы, но, как понимают читатели, польза от них нулевая.

Слова, они и есть слова.

Математики со своими непонятностями борются успешней. Ну, во-первых, у них за две с лишним тысячи лет выработался некий инстинкт, во многом подобный инстинкту хищника — кидаться на малейшую нечеткость мысли, а во-вторых, им проще — их объекты идеальны.

Перед вами

ИСТОРИЯ ВОСЬМАЯ, или ПЯТЫЙ ПОСТУЛАТ

Мы уже говорили о неевклидовой геометрии, но история стоит того, чтобы к ней вернуться.

Два тысячелетия математики пытались доказать пятый постулат Евклида³. Он слишком напоминал теорему.

³ Одна из его формулировок такова: на плоскости через точку, находящуюся вне прямой, можно провести только одну прямую, параллельную данной.

Как постулат он был сложен, а значит некрасив⁴.

В начале XIX в. независимо друг от друга Лобачевский, Бояи и Гаусс пришли к идее, что доказать пятый постулат невозможно. Красив он или нет, но он равноправен с остальными аксиомами геометрии. Очень схематично их логику можно представить так. Предположим, что пятый постулат несправедлив, и затем найдем логическое противоречие в следствиях. Тогда он будет доказан. Превратится в теорему.

Известный со времен Евклида прием доказательств от противного. Но чем дальше развивалась логическая цепь теорем, тем более стройной оказывалась система этой новой неевклидовой геометрии. И в какой-то момент и Лобачевский, и Бояи, и Гаусс поверили — пятый постулат недоказуем. Но если так — геометрия, в которой все аксиомы совпадают с аксиомами Евклида, за тем исключением, что вместо пятого постулата взято обратное утверждение, имеет такое же право на жизнь, как Евклидова.

Она вообще ничем не хуже.

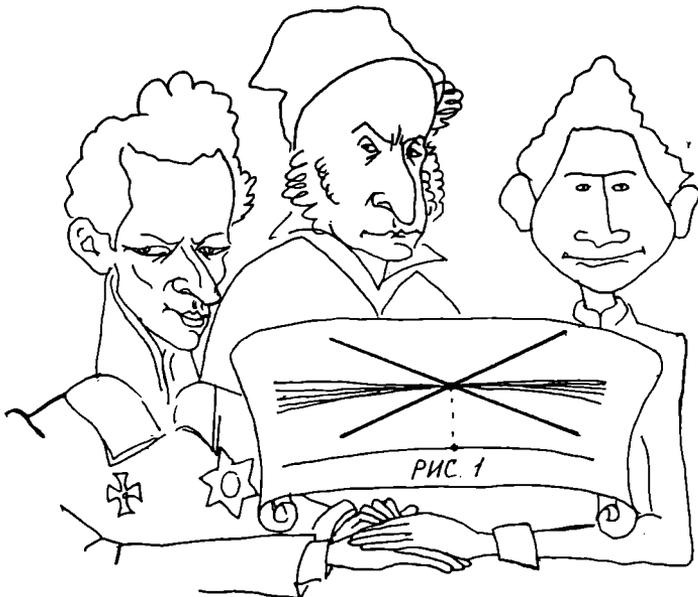
Но вот дальше и начинается самое любопытное.

Поверить не означает доказать. Никто не гарантировал, что, доказав тысячу теорем в неевклидовой геометрии, вы не придете к противоречию в тысяча первой. И это отлично понимали и Гаусс, и Бояи, и Лобачевский. Нужно было иметь строгое доказательство принципиальной непротиворечивости новой геометрии. А его не было.

Они не могли его найти. И так же,

⁴ Убедимся в этом. Известна теорема: внешний угол треугольника больше любого внутреннего угла, не смежного с ним. Она доказывается без всякого привлечения понятия о параллельных линиях. Следовательно, и без использования пятого постулата. С ее помощью очень легко доказывается теорема: если при пересечении двух прямых третьей накрестлежащие углы равны — прямые параллельны. Обратная теорема — одна из формулировок пятого постулата. Именно в такой форме дает пятый постулат Евклид. Невольно возникает мысль, что Евклид сознательно выбрал наиболее неуклюжую формулировку этого пятого, чтобы обратить внимание, подчеркнуть: здесь что-то неладно, коллеги. Тут необходимо серьезно работать.

На этой картинке вы видите Лобачевского, Гаусса и Бояи. Гаусс молчит, а Лобачевский и Бояи украдкой пожимают друг другу руки и объясняют неевклидову геометрию. Лобачевский еще молод, и поэтому у него мало орденов, а офицер Бояи забыл дома шлягу.



как перед Эйлером, перед ними возник вопрос: что же, порвать с религией математика, опубликовать свои результаты, заявить о том, что неевклидова геометрия так же непротиворечива, как обычная евклидова? Либо же... с горечью признать: строго доказать я ничего не могу, а если так, математически законченной работы нет. Это лишь наброски, попытки и только. Лобачевский и Бояи поступили так же, как Эйлер, Гаудсмит и Уленбек.

Гаусс, хотя внутренне был убежден в логической непогрешимости неевклидовой геометрии, своих работ не опубликовал. Работа не завершена, и публиковать ее не следует, если ты строгий математик.

Между прочим, можно удивляться историкам науки. Вопрос, почему именно молчал Гаусс о своих результатах в неевклидовой геометрии, волнует всех без малого сто пятьдесят лет. Вероятно, уже можно составить небольшую библиотеку из книг и диссертаций, посвященных исключительно этой теме. Но мне не доводилось встречать, по-моему, совершенно тривиального объяснения, приведенного чуть выше.

Непротиворечивость неевклидовой геометрии была доказана позже, а твор-

цами ее справедливо считают Лобачевского и Бояи, потому что они — и только они — рискнули предложить новую теорию, не имея строгого обоснования.

Мораль. Как видно, часто в математике к великим открытиям приходят почти такими же путями, как и в физике. И все-таки требования к логической строгости и обоснованности теории в математике неизмеримо выше. Тем не менее, если следовать только букве, а не духу закона, и в математике можно пройти мимо важнейших открытий. Почти об этом говорит красивый афоризм, который вспомнил в своей книге «Математическая смесь» (М., 1965) замечательный математик Дж. Литтлвуд: «Репутация математика основывается на числе плохих доказательств, придуманных им».

Смысл: работы первооткрывателей очень часто нестроги, неуклюжи и грубы.

Не могу удержаться от соблазна «филологического» отступления и приведу классический пример, когда неудачная терминология Лобачевского вот уже сто с лишним лет ввергает в ересь широкие народные массы.

Вероятно, многие читали или слышали фразу: «Н.И. Лобачевский доказал,

что параллельные пересекаются в бесконечности». Ее, фразу эту, особо обожают писатели и журналисты. Чуть ли не первым сам Ф.И. Достоевский пространно и с явственным неодобрением рассуждал на эту тему («Братья Карамазовы»).

Если объявить всемирный конкурс на самую нелепую краткую формулировку идеи Николая Ивановича, этому шедевру, вне сомнений, обеспечен первый приз вкупе с золотой медалью. Большую чушь придумать немудрено. И верней было бы Федору Михайловичу до математики не касаться.

Однако любопытно, как самозародилась эта нелепица и почему она столь живуча?

Первая половина, именно слова: «Лобачевский доказал», целиком на совести преподавателей математики. В школе, да и в институтах многократно повторяют: «В математике (в геометрии) все строго доказывается», — практически забывая подчеркнуть: в фундаменте любого раздела математики — аксиоматический метод, когда ряд понятий считаются первичными (никак не объясняются, а только называются) и серия утверждений принимается без доказательства (аксиомы, или постулаты).

В итоге запоминается: в математике все доказывается.

А вот вторая половина — «параллельные пересекаются в бесконечности» — на совести Лобачевского. Его грех, и довольно поучительный. Посмотрим, как все произошло.

Пятый постулат (как мы говорили) утверждал: через точку, не лежащую на данной прямой, в их общей плоскости можно провести только одну прямую, параллельную данной. Параллельными Евклид называл непересекающиеся прямые, лежащие в одной плоскости.

Как помним, Бояи, Лобачевский и Гаусс последовательно проводили идею: можно построить геометрию, столь же непротиворечивую, как и геометрия Евклида, если сохранить все остальные аксиомы и постулаты, но вместо пятого принять альтернативный: через точку, не лежащую на данной прямой, в их общей плоскости

можно провести бесконечное число прямых, не пересекающих данную.

Это все прямые, проходящие внутри некоторого угла (см. картинку). Крайние прямые — последние, не пересекающие данную. Любая прямая, проходящая вне угла, уже пересечет нашу прямую.

Увы, далее придется ограничиться «филологией».

Следует как-то назвать все прямые нашего пучка и хорошо бы выделить особое положение крайних прямых. Лобачевский и предложил: все прямые внутри пучка назовем сверхпараллельными, а крайние (ограничивающие) — параллельными. Вот о крайних — параллельных в смысле Лобачевского прямых пучка — можно с определенной натяжкой сказать: они как бы пересекаются в бесконечности.

И только эти слова большинство и услышало (в том числе и некоторые профессионалы). И нелепая путаница тянется скоро двести лет. Повторимся: во многом виноват сам Николай Иванович. Но... первооткрывателям, как правило, некогда думать о чеканных формулировках. Подчистить все и навести красоту — дело учеников и эпигонов или же педагогов.

Возможно, все наши истории создают впечатление, что на высшем уровне особой разницы между математикой и теоретической физикой нет.

В определенном смысле так оно и есть. Но на самом высоком уровне, пожалуй, нет особой разницы и между музыкой и математикой или, если угодно, между архитектурой и теоретической физикой.

Позвольте покончить с этими рассуждениями. Перед нами

ИСТОРИЯ ДЕВЯТАЯ: О РАЗЛИЧИЯХ МЕЖДУ ФИЗИКАМИ И МАТЕМАТИКАМИ

Почти во всех учебниках анализа, геометрии, топологии и прочее, и прочее приводится, цитируется и доказывается знаменитая и очень важная для математиков теорема Жордана: замкнутая кривая на плоскости, не имеющая самопересечений (простая),

делит плоскость ровно на две области — внешнюю и внутреннюю.

Доказательство этой теоремы очень сложно. Только в результате многолетних усилий многих ученых удалось найти сравнительно простые доказательства, но и они далеко не элементарны. А первое, труднейшее доказательство самого Жордана вообще вроде бы имело логические погрешности.

Мораль. Физик-теоретик не потратил бы и минуты на доказательство теоремы Жордана. Физика эта теорема абсолютно очевидна без каких-либо доказательств. Я не говорю сейчас, хорошо это или плохо. Я просто сообщаю факты. Очевидно, математики обязаны доказывать те факты, которые физики-теоретики обязаны воспринимать как сами собой разумеющиеся. Кстати, в своей автобиографии Эйнштейн замечает: «Моя интуиция в области математики была недостаточно сильна, чтобы уверенно отличить основное и важное от остальной учености...»

Для интуиции физика-теоретика теорема Жордана — это ужасная и ненужная ученость. Для интуиции математика она, очевидно, представляется интереснейшим утверждением, требующим детального анализа. Разные науки и соответственно разные критерии.

Впрочем, физики стремятся к логической завершенности своей науки не менее математиков. Об этом

ИСТОРИЯ ДЕСЯТАЯ, ИЛИ СТРАННАЯ ЖИЗНЬ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ

1. Прежде всего — предупреждение. Я, конечно, не надеюсь и не пытаюсь сколь-нибудь последовательно рассказать о квантовой механике. Это попросту немислимо в популярном очерке.

Выводы квантовой механики почти всегда парадоксальны, если мы попробуем использовать нашу «классическую» интуицию, сложившуюся на основе «обычной» физики и ее прикладных разделов, столь блестяще работающих в макромире. Потому, вероятно, нелишне, пусть и поверхностно, на уровне туриста, познакомиться с удивительным квантовым миром.

При этом необходимо твердо помнить: квантовая теория — отнюдь не умозрительная забава физиков. Сегодня прикладная квантовая механика, как уже говорилось, — столь же развитая инженерная наука, как, например, сопротивление материалов или электротехника...

По большому счету парадоксов и странностей в квантовой механике не больше (если не меньше), чем в привычной нам классической физике. Квантовая механика последовательна и изящна.

Конечно, в квантовой теории есть нерешенные принципиальные проблемы, есть и реальные парадоксы. Но на начальном этапе знакомства главная трудность в другом.

Если говорить честно, до создания квантовой теории вся классическая физика являла собой единый сплошной парадокс. На самом деле непонятно было все.

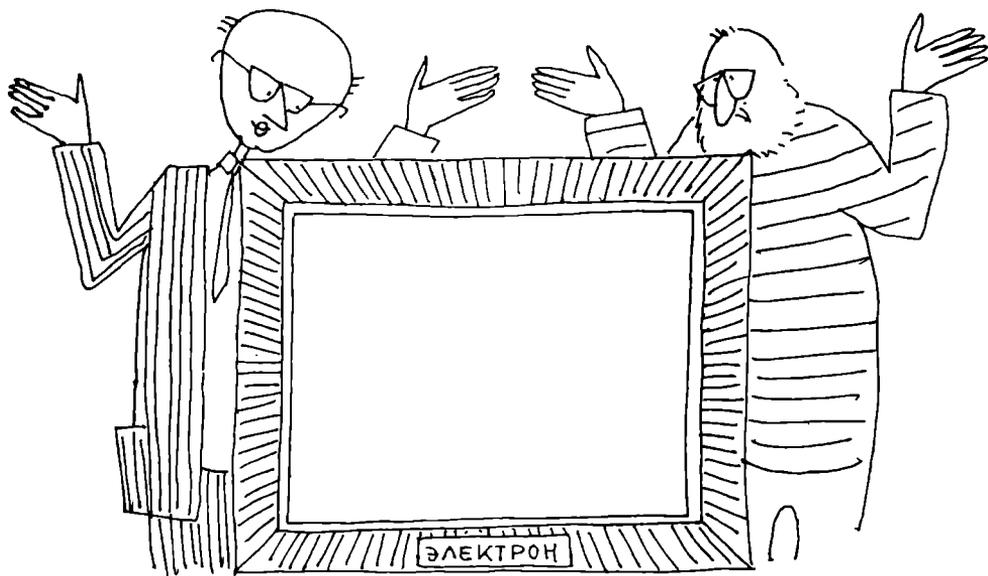
Хуже того. Реальный мир на каждом шагу грубо противоречил фундаментальным законам классической физики.

Например: существование атомов, молекул и, более того, твердых тел; загадочные свойства электромагнитных волн даже в вакууме, не говоря уж об их взаимодействии с веществом; основы статистической физики. Не вспоминаем уже о таких мелочах, как существование магнетизма тел. В классической физике его просто не может быть. Он запрещен!

Тем не менее скрепя сердце физики со всем этим как-то мирились. Отчасти, видимо, находясь под впечатлением фантастических успехов прикладной физики и химии. Успокаивало и то, что все обсуждение проводилось на языке образов, доступных нашему сознанию.

И почти все пытались думать на этом наглядном языке. Даже сам Максвелл (Максвелл!) пробовал строить эфир с помощью неких механических моделей, «эфирных шестеренок» («зубчатых колесиков»)...

Видимо, только Ньютон полностью понимал всю зыбкость основ классической физики, механики и всего... Но на то он и был Ньютон. «Qui genus humanum



Это волшебная картинка-загадка. На ней изображены Л.А.Максимова (справа) и В.П.Смилга, рассуждающие о схеме телевизора. Оба они имеют довольно смутное представление о том, как он устроен, хотя прекрасно умеют нажимать на кнопки и переключать программы. Именно поэтому они любят много разглагольствовать о конденсаторах и прочих таких вещах.

На самом деле эта картинка — аллегория. Телевизор — это квантовая теория. Взгляните внимательнее и, может быть, вы поймете, как устроен мир.

ingenio superavit». («Кто разумом превосходил род человеческий».)

2. С первых шагов квантовой механики мы оказались в непредставляемом, «аномальном» мире. Нет образов в нашем бедном классическом сознании, чтобы как-то наглядно, «на пальцах», почувствовать и принять ее основные принципы.

Даже в нерелятивистской квантовой механике мы не только сталкиваемся с понятиями и результатами, для которых не существует в нашем бедном «классическом» сознании никаких адекватных представлений. Но хуже того — почти все наши мыслимые наглядные образы прямо противоречат квантовой картине мира. В релятивистской квантовой теории с наглядностью совсем плохо.

Возникает естественное чувство

недоверия, неудовлетворенности. Его не избежали и сами творцы квантовой теории. Например, блистательный Ричард Фейнман в введении к своим популярным лекциям с красноречивым заглавием «КЭД — странная теория света и вещества» (М., 1988) (речь идет о квантовой электродинамике) пишет:

«Все попытки объяснить вращение электронов вокруг ядра законами механики, теми же, при помощи которых Ньютон вычислял движение Земли вокруг Солнца, оказались неудачными. Ни одно предсказание не подтвердилось. (Между прочим, теория относительности, которую вы все считаете великой революцией в физике, разрабатывалась приблизительно в это же время. Но по сравнению с этим открытием — законы механики Ньютона не годятся для атомов (здесь и далее курсив мой. — В.С.) — теория относительности была лишь незначительным усовершенствованием.)»

Выработка новой системы взглядов, способной заменить законы Ньютона, заняла долгое время, так как все, что происходило на атомном уровне, казалось очень странным. *Надо было расстаться со здравым смыслом, чтобы представить себе, что же происходит на атомном уровне.*

Наконец, в 1926 г. была разработана «бредовая теория», объяснявшая «новый тип поведения электронов» в веществе. Она только казалась сумасшедшей. Ее назвали квантовой механикой. Слово «квантовая» относится к той странной особенностям природы, которая противоречит здравому смыслу.

Фейнман, повторимся, физик и педагог, как говорится, от Бога. Читая Фейнмана и других великих — Эйнштейна, Дирака, Ферми, — испытываешь смешанное чувство гордости за людей и некоторое грустно-завистливое восхищение. Понять-то их можно, но самостоятельно мыслить на таком уровне тебе, увы, не дано.

И Эйнштейна, и Дирака, и Фейнмана, и многих других тревожила и смущала некая незавершенность квантовой теории; и сегодня интерес к анализу основ, пожалуй, лишь возрастает.

Причем, как правило, речь идет даже не о релятивистской квантовой механике и не о квантовой электродинамике (КЭД) (в ней появляются свои добавочные неприятности), и уж тем более не о новейших теориях в физике элементарных частиц... Нет, беспокоят фундаментальные принципы «обычной» квантовой механики. (Напомним еще раз — сегодня она превратилась в прикладную, инженерную науку.)

Вот отрывки из книги Дирака «Воспоминания о прекрасной эпохе»:

«Общий метод интерпретации новой механики... заключался в следующем: квадрат модуля волновой функции $|\psi(x,t)|^2$ предполагался равным вероятности того, что частица находится в данной точке пространства в определенный момент времени⁵.

Я употребил здесь слово «вероятность». Это означает, что при интерпретации квантовой механики ис-

пользуется понятие вероятности. Такая интерпретация позволяет вычислить вероятность определенного события, в нашем случае — вероятность того, что электрон находится в определенной точке в данный момент времени.

В механике Ньютона, т.е. в классической механике, мы не просто вычисляем вероятности — мы точно вычисляем, какие именно события должны произойти. Новая механика — квантовая — лишена определенности, которая характерна для механики Ньютона. Отсутствие определенности чрезвычайно серьезное препятствие на пути к пониманию квантовой механики. Это то, с чем очень трудно примириться».

Прошу вас, обратите внимание на последнюю фразу. Дирак, один из творцов квантовой теории, конечно, знал и понимал все на высшем уровне. Но и у него невольно возникает некоторый до конца не осознанный внутренний дискомфорт.

И далее:

«Оказывается, что данные теории и наблюдения согласуются между собой. Если встать на эту точку зрения, то совершенно достаточно знать вероятность события. Тем не менее человек не чувствует себя удовлетворенным, если теория дает только вероятности».

Заметьте, снова и снова аргументы Дирака относятся к области чувств, а не строгой логики. Заклучая, Дирак пишет: «Вероятностная интерпретация, основанная на волновой функции Шредингера, — лучшее, что удалось придумать. Делалось много попыток усовершенствовать теорию, чтобы получить с ее помощью не только вероятности. Однако все эти попытки провалились!

В соответствии с современной квантовой механикой вероятностная интерпретация, которую отстаивал Бор, правильна. Но у Эйнштейна был все-таки один козырь: по его словам, «добрый Бог не играет в кости». Эйнштейн верил в то, что физика должна быть причинной по своему характеру».

Дирак пишет далее: «Я не исключаяю возможности, что в конце концов может оказаться правильной точка зре-

⁵ Отметим небольшую небрежность у Дирака (возможно, неточность перевода). Лучше сказать так: вероятность $dW(x,t)$ частице оказаться в бесконечно малом (очень, очень маленьком!) объеме dv около точки x есть $dW(x,t) = |\psi(x,t)|^2 dv$. Сам квадрат модуля $|\psi(x,t)|^2$ называется плотностью вероятности. А вероятность оказаться точно в данной точке, само собой, равна нулю.

ния Эйнштейна, потому что современный этап развития квантовой теории нельзя рассматривать как окончательный. В этой теории существует немало нерешенных проблем, о которых я расскажу позже... *Современная квантовая механика — величайшее достижение, но вряд ли она будет существовать вечно.* Мне кажется весьма вероятным, что когда-нибудь в будущем появится улучшенная квантовая механика, в которой мы вернемся к причинности и которая оправдает точку зрения Эйнштейна. Но такой возврат к причинности может стать возможен лишь ценой отказа от какой-нибудь другой фундаментальной идеи, которую сейчас мы безоговорочно принимаем. *Если мы собираемся возродить причинность, то нам придется заплатить за это, и сейчас мы можем лишь гадать, какая идея должна быть принесена в жертву.*

Таковы основные положения, связанные с фундаментальными уравнениями новой механики и с их интерпретацией».

Как видите, Дирак вслед за Эйнштейном все время использует чисто интуитивные категории. Ну не верил Эйнштейн, что «добрый Бог играет в кости». (Естественно, говоря «*lieber Gott*», Эйнштейн подразумевал не «дедушку с бородой», а законы природы.)

Если основы квантовой теории вызвали определенное неприятие самих творцов, то тем более они смущают и ошарашивают при первом знакомстве. И с этим необходимо примириться. Кстати, заметим. Обсуждая основы основ, и Дирак, и Эйнштейн, и Фейнман как бы забывают о «высокой» науке, о стройных логических структурах и обращаются к языку интуитивных образов, доводов, понятий.

Скорее к языку искусства, чем науки.

Дирак пишет: «Это то, с чем очень трудно примириться». Эйнштейн — «не верит». Фейнман говорит: «Надо было расстаться со здравым смыслом».

Ну, здесь уместно спросить: а что, собственно, такое этот самый «здравый смысл»? Единственный разумный ответ, видимо, таков: это

собрание привычных нам представлений и понятий, результат нашего обобщенного опыта. Неважно, будь то опыт в сфере общественных отношений или же в исследовании природы.

И ничего более. То, что противоречит нашему пресловутому «здравому смыслу», обычно воспринимается как чудо. Можно вспомнить, что конфессии всех времен и народов вплоть до наших дней с неизменным успехом практикуют довольно убогий набор так называемых чудес. Впрочем, кажется, блаженный Августин дал в свое время изумительное определение чуда: «Чудо — не то, что противоречит законам природы, а то, что противоречит нашему знанию этих законов».

Именно с такими чудесами мы встретились, перейдя к исследованию квантового мира.

Мы уже говорили: первый осознал все это Ньютон. И сегодня, когда мы произносим ученые слова «корпускулярно-волновой дуализм», они означают лишь одно: свет проявляет себя и как поток частиц (фотонов) и как периодические колебания электромагнитных полей (волны). Это, повторимся, знал и Ньютон.

Представить себе такое мы не в состоянии.

Вот о том, что и «материальные» частицы (частицы, имеющие массу покоя) — электроны, нейтроны, протоны — ведут себя, как некие волны, узнали (и бесчисленное число раз подобное наблюдали) только в нашем веке. И это мы точно так же не в состоянии себе представить. Любопытно, что чисто психологически волновые свойства «массовых» частиц поражают больше, чем поведение света как потока частиц. Тут резон один — свет нам привычней. Вот и все.

Говоря же честно, свойства электромагнитного поля (в частности, света) еще более непредставимы (немислимы). Действительно, с одной стороны, мы великолепно умеем описывать электромагнитное поле, представляя его как набор частиц — фотонов (квантов поля). Как и «обычные» частицы, фотоны имеют импульс

$p = \hbar k$ и энергию $\epsilon = c|p|$.

Здесь c — скорость света ($c = 3 \cdot 10^8$ км/с); $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-27}$ эрг·с — постоянная Планка.

Но когда мы строим радиопередатчики, радиоприемники, радары и т.п., то используем только волновую теорию Максвелла, не вспоминая про фотоны.

Повторимся. Представить, как это получается, невозможно! Но тем все и интересней.

Впрочем, загадки нашего сознания еще темней.

Вообразить, как параллельно с миром науки, ученых существует и процветает (в так называемых цивилизованных странах) обширный мир колдунов, черных и белых магов, гадателей, ясновидящих, астрологов, каких-нибудь парацелителей, короче, мир палеолита, мир паленой шерсти и узловатых дубин, вообще невысказуемо. Но сие, к сожалению, реальный факт.

Тому две тысячи лет, как Марк Туллий Цицерон написал философский трактат «О дивинации», или о способности предчувствовать и узнавать будущее. Право, трактат этот сегодня столь же современен, как и в те времена. Он подробно, быть может, несколько тяжеломерно, разбирает многочисленные виды гаданий, начиная с астрологии⁶, не забывая и прочих многочисленных разновидностей (гаруспиции, ауспиции и т.д., и т.д.).

⁶ Забавно, что в Риме астрологов часто называли халдеями, независимо от их национальности. Еще интересней, что слово это вошло в наш народный язык в значениях — нахал, крикун, бесстыдник, жуликоватый болтун. Но, конечно, самое замечательное то, что и просвещенное телевидение, и десятки газет регулярно потчуют нас разнообразными халдейскими пророчествами (астрологическими прогнозами). Причем, чутко следуя духу времени, современные астрологи приобрели узкую специализацию. Имеются «глобальные» халдеи, бизнес-халдеи, медики-халдеи и, конечно-конечно, секс-халдеи.

Будем справедливы, однако: рядом с всяческими колдунами, магами, «заряжателями» воды и туалетной бумаги астрологи смотрятся как служители высокой науки. Но суть-то едина — халдейство оно и есть халдейство.

Он цитирует просвещенных людей своего времени, подробно рассматривает доводы в пользу дивинации (трактат написан как диспут) и в итоге не оставляет от дивинации камня на камне. То, что дивинация столь популярна, замечает он, на то три причины: невежество, суеверие, обман. И грустно резюмирует: «Нет ничего распространенней невежества». К сожалению, приходится признать, что с его времен массовое сознание мало изменилось.

Заметим, что Цицерон, как, впрочем, многие древние философы, строго разделяет суеверия и религию (веру в богов). Хотя в Риме гадания были возведены в ранг государственной религии.

Более того, он прекрасно понимает (и тут он снова солидарен с лучшими мыслителями древности), что любая религия — пример аксиоматического мышления. Более или менее удачный, так как наше бытие достаточно разнообразно. В религиозной аксиоматике мы встречаем своего рода иллюстрации теоремы Геделя. Система аксиом любой из религий неполна, что и приводит к появлению в любой развитой религии множества ответвлений — в зависимости от тех аксиом, что добавляют сторонники того или иного направления.

Меньше всего хочу задеть чьи-нибудь религиозные чувства, и вообще наш разговор о другом. Но позвольте лишь заметить, что пишут, будто при опросе, проведенном среди американских ученых, наибольший процент религиозных людей (правда, все же незначительный) дали математики, а наименьший — физики. Воздержимся от любых оценок, но различие в стилях мышления этот факт иллюстрирует достаточно четко.

Физики все же более раскованы, так как в своей работе часто должны следовать рецепту грузинского школьника (из анекдота). На просьбу доказать что-то был дан ответ: «Мамой клянусь!»

Геном человека — медицине

В. И. Иванов



Владимир Ильич Иванов, академик РАМН, директор Медико-генетического научного центра РАМН и заведующий лабораторией генетики развития того же центра; заведующий кафедрой генетики медико-биологического факультета РГМУ. В Российской программе «Геном человека» возглавляет медико-генетический раздел. В последние годы научный интерес связан с компьютерным информационным анализом изменчивости пороков развития. Автор более 300 научных работ по генетике и медицине.

ИНТЕНСИВНОЕ развитие в истекающем XX в. медико-биологических наук и технологий на их основе позволяет не только описывать в терминах молекулярных структур и процессов тонкое строение отдельных частей тела и их согласованную работу, но и создавать принципиально новые методы диагностики, лечения и профилактики многих заболеваний¹.

Такое проникновение в ультратонкую организацию и жизнедеятельность организма стало возможным благодаря установлению химического строения и функций нуклеиновых кислот, содержащих передаваемые от поколения к поколению генетические тексты, согласно которым реализуется программа развития организма. По образному выражению Н.В.Тимофеева-Ресовского, «в удивительном по своей стройности и сложности индивидуальном развитии многоклеточных организмов, к каковым относится и организм человека, с высокой точностью в должное время в должном месте происходит *должное*».

Разумеется, сказанное относится к нормальному развитию организма в нормальных условиях. В действительности в ходе онтогенеза часто происходят ошибки. Многие оплодотворенные яйцеклетки не способны пройти все стадии внутриутробного развития, что приводит к спонтанным абортam или появлению нежизнеспособных плодов. Но и среди новорожденных младенцев 4—5% составляют дети с различными врожденными заболеваниями и (или) пороками развития наружных и (или) внутренних органов, порой несовместимыми с послеродовой жизнью².

© В.И.Иванов

¹ Иванов В.И. Биология в XX веке и генетика в биологии // XX век, биология! М., 1984. С.7—11.

² Иванов В.И. Генетика и медицина. М., 1984.

Однако далеко не все наследственные заболевания проявляются при рождении человека. Около 15% населенияотягощено позже развивающимися, но также зависящими от наследственной предрасположенности болезнями: сахарным диабетом, бронхиальной астмой, гипертонической болезнью, псориазом, большой группой неврологических расстройств и др. Приведенные данные относятся к нормальным условиям жизни. А каковы они будут с учетом влияния экологических катастроф и антропогенных загрязнений биосферы, пока нельзя сказать. Ясно только, что наследственный груз человечества станет значительно больше.

В России каждый год на 1.2—1.3 млн родов появляется около 60 тыс. детей с врожденными пороками развития и наследственными болезнями, в том числе около 15 тыс. младенцев с очень тяжелыми поражениями. Часть таких детей умирает в раннем возрасте, многие становятся инвалидами. Ежегодно число инвалидов с детства в России увеличивается на 15—20 тыс. при средней продолжительности их жизни 20—40 лет.

Наследственные болезни и пороки развития, весомую долю которых составляют семейные формы патологии, ложатся тяжким бременем на семью и общество. В год на содержание одного такого ребенка в специализированном учреждении затрачивается до 20 тыс. денеминированных рублей (до 17 августа 1998 г.), а на содержание 300—500 тыс. инвалидов требуется не менее 6—8 млрд руб., соответственно. При этом речь идет о самых скромных расходах на уход и поддержание жизни таких страдальцев.

Все это говорит о том, что диагностика, лечение и профилактика наследственных и врожденных заболеваний и пороков — одна из самых актуальных задач медицинской генетики. В развитых странах большинство современных подходов к ее решению базируется на результатах молекулярно-генетических исследований, объединенных в самый крупный в истории

человечества международный биологический проект «Геном человека», курируемый HUGO (Human Genome Organization).

Десять лет уже существует и отечественная программа «Геном человека». Ее инициатором, мозгом и душой был Александр Александрович Баев³. Как врач по образованию, он лучше всех сознавал, что наряду с главной задачей прочесть и расшифровать весь геном человека в программе непременно должна присутствовать медико-генетическая часть. Сегодня это один из самых больших разделов программы, который включает генетическое картирование локусов, ответственных за те или иные заболевания, ДНК-диагностику и генотерапию наследственной патологии, изменения генома при опухолевых заболеваниях, правовые и этические проблемы геномных исследований и их медицинских приложений⁴.

Всего 20 лет назад самыми тонкими методами изучения наследственной патологии человека были цитогенетический анализ дифференциально окрашенных хромосом и биохимическое исследование метаболитов и ферментов методами электрофореза и хроматографии. Со второй половины 80-х годов ситуация радикально изменилась. Новые методы выделения, клонирования, секвенирования, гибридизации ДНК уже вошли в лабораторную и клиническую практику диагностики наследственной (и не только наследственной) патологии. Разработанные же на базе рекомбинантных ДНК методы конструирования векторов для переноса в клетки-мишени, интеграции в геном реципиента и экспрессии в нем корректирующих ДНК-последовательностей начинают применяться для молекулярной заместительной терапии генетических и иных дефектов.

С 1996 г. возможности медицинского применения генно-инженерных

³ Баев А.А. Геном человека // Природа. 1995. № 4. С.64—72.

⁴ Иванов В.И. «Геном человека». Новые возможности, новые проблемы // Человек. 1995. № 1. С.7—20.

Таблица

ДНК-диагностика наследственных заболеваний в медико-генетических центрах России

Диагностируемые формы	Москва	С.-Петербург	Томск	Новосибирск
1. Муковисцидоз	+	+	+	+
2. Миодистрофия Дюшенна	+	+	+	
3. Фенилкетонурия	+	+	+	
4. Гемофилия А	+	+		
5. Гемофилия В	+	+		
6. FraX-A, FraX-B	+	+		
7. Хорея Гентингтона	+	+		
8. Болезнь Виллебранда	+	+		
9. Синдром Хантера	+	+		
10. β -талассемия	+	+		
11. Атаксия Фридрейха	+			
12. Спинальная амиотрофия	+			
13. Синдром Альпорта	+			
14. Аденогенитальный синдром	+			
15. Болезнь Шарко—Мари—Туса (1а и b, X-сцепленные формы)	+			
16. Атаксия-телеангиэктазия	+			
17. Болезнь Вильсона—Коновалова	+			
18. Агаммаглобулинемия X-сцепленная	+			
19. Миотоническая дистрофия		+		
20. Болезнь Кеннеди		+		
21. Синдром Леш—Найхана		+		
22. Семейная гиперхолестеринемия		+		
23. Недостаточность антитрипсина		+		
24. Поликистоз почек		+		
25. Предрасположенность к диабету типа I		+		

технологий в России несколько расширились в связи с включением этого направления в общероссийскую программу приоритетных направлений медицины и здравоохранения. Правда, суммарное финансирование обеих российских программ на два-три порядка ниже финансирования исследований генома человека, проводимых в США.

ГЕНОДИАГНОСТИКА

Среди медицинских приложений современных генно-инженерных технологий наиболее успешно развиваются генотерапия и, особенно, генодиагностика.

Многообразие форм наследственных болезней (а их уже известно более 4 тыс.), изменчивость их клинических проявлений и часто отсутствие

радикального лечения делают особенно актуальной разработку точных ранних (преклических и пренатальных) методов диагностики этих болезней⁵. А это прежде всего ДНК-диагностика, молекулярная цитогенетика, тонкая биохимическая и иммунодиагностика, компьютерный информационный анализ. К сожалению, сегодня в России такие методы доступны пока только федеральным медико-генетическим центрам, академическим и университетским клиникам.

Всего же в последнее время у нас в стране ежегодно выполняется свыше 1800 инвазивных пренатально-

⁵ Баранов В.С. Пренатальная диагностика: реальность и перспективы // Природа. 1996. № 11. С.54—61.

диагностических процедур, включая около 1500 цитогенетических, до 300 биохимических и более 350 генодиагностических (ДНК-диагностических) анализов (см. табл.).

Одно из наиболее продвинутых направлений — диагностика и лечение муковисцидоза (кистозного фиброза поджелудочной железы) — самого частого наследственного заболевания в европеоидных популяциях, а также ряда гематологических нервно-мышечных болезней. В результате работ по программам «Геном человека», «Здоровье населения России» и российско-британского проекта (Москва—Саутгемптон) усовершенствовалась ДНК-диагностика муковисцидоза и гемофилий. Накоплен материал (более 120 делеций) по нарушениям гена дистрофина и разработаны уникальные методы точного картирования границ делеций, при этом показана популяционная специфичность таких точно картированных разрывов. Исследования мутаций гена COL4A5 позволили начать ДНК-диагностику еще одного распространенного наследственного заболевания — синдрома Альпорта. Изучение мутаций генов арилсульфатазы В и 21-гидроксилазы дополнили биохимическую диагностику мукополисахаридоза IV и гиперплазии коры надпочечников молекулярно-генетическими методами. Значительно повышена эффективность ДНК-диагностики спинальной амиотрофии, входящей в число наиболее распространенных и тяжелых форм наследственной патологии в России.

В ходе работы программы «Геном человека» сложилась федеральная система молекулярной диагностики наследственных болезней. Правда, по числу диагностируемых форм и методам российская система сильно уступает зарубежным аналогам в США, Канаде и Западной Европе.

Своеобразную группу форм наследственной патологии представляют синдромы, обусловленные генетическими дефектами, которые занимают промежуточное положение между собственно генными мутациями и хромо-

сомными перестройками (обычно это — микроделеции). Сочетание тонкого цитогенетического и молекулярного анализа соответствующих участков хромосом позволило точно картировать их и секвенировать прилежащие к точкам разрыва последовательности ДНК. Эти результаты помогают понять природу таких синдромов и открывают новые возможности для их точного диагноза и прогноза. Тонкий молекулярный анализ позволяет также открывать и исследовать новые, ранее неизвестные гены человека.

ИНФОРМАТИКА

В последние годы в России наметился прогресс в создании собственных русскоязычных информационно-поисковых систем по цитогенетическому картированию и порокам развития человека. Так, в нашем центре разработаны две компьютерные системы: «SYNGEN», включающая 1920 синдромов врожденных пороков развития, и «CHRODYS» — по цитогенетике и клиническим проявлениям синдромальных форм врожденной патологии, связанной с образованием в организме клеток с варьирующим числом некоторых неполовых хромосом (анеусомия аутосом человека).

За последние три года эти программы прошли испытания на практике в нескольких направлениях. С помощью «SYNGEN» проведена компьютерная диагностика и изучены формы врожденной патологии, связанные с поражением центральной нервной системы. Кроме того, эту программу использовали как вспомогательное средство при оценке новых технологий для диагностики угрожающих состояний плода и новорожденного, а также врожденной патологии ЛОР-органов и сердечно-сосудистой системы.

Сегодня можно уверенно сказать, что система «SYNGEN» значительно ускоряет постановку объективного диагноза. Оперируя почти двумя тысячами синдромов и словарем, обозначающим полторы тысячи признаков, можно достаточно быстро составить список диагнозов-кандидатов по исходным

клиническим характеристикам. Таким образом, информационно-поисковая система «SYNGEN» помогает выявить синдромальные формы заболеваний и может стать незаменимым средством в профилактике врожденных болезней. Хотя многие случаи врожденных пороков развития относятся к тем или иным синдромам, на практике без применения компьютерных систем половина из них остается неузнанной.

Новые компьютерные технологии позволяют врачам оперативно обмениваться медицинским опытом. Никакие издания не успевают за потоком новой информации. В этом ключе особое значение приобретают уникальные генетические банки данных. В системе «CHRODYS» собраны сведения более чем о 600 хромосомных синдромах точно установленных или заявленных как возможные формы по всем аутосомам (они представлены по каждому виду патологии несколькими или единичными случаями). Те, кто уже работает с данными генетических банков, успели убедиться в их несомненной эффективности для практики⁶ (например, Томский научно-исследовательский институт медицинской генетики).

Вместе с тем некоторые версии наших компьютерных систем используются в качестве электронных пособий для студентов-медиков на кафедрах генетики Российского государственного медицинского университета им. Н.И. Пирогова и Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова, а также для повышения квалификации врачей-генетиков и педиатров — в Российской медицинской академии постдипломного образования⁷.

Завершена работа по созданию компьютерного медико-цитогенетического банка, в котором содержатся сведения по 623 моно- и трисомиям аутосом, выявленным у 2015 пациентов. Банк предназначен для цитогенетичес-

кого картирования генома и уже применяется для диагностики хромосомных аномалий в медико-генетических консультациях России.

ГЕНОТЕРАПИЯ

Основная часть работ по генотерапии наследственных и других заболеваний ориентирована на получение корректирующих последовательностей и векторов, их перенос и встраивание в клетки-реципиенты. Для этой цели испытываются плазмидные и вирусные векторы, баллистические микроинфузии, трансплантация клеток и др.⁸

Ряд исследователей в разных странах полагают, что сегодня наиболее реально генотерапия муковисцидоза. Это тяжелое, рецессивно наследуемое заболевание, обусловленное дефектами в выделенном и клонированном гене CFRT (cystic fibrosis transmembrane regulator), которые приводят к поражению экзокринных желез и проявляются чаще всего в виде бронхолегочных изменений. Надеяться на более быстрый успех генотерапии позволяет доступность легочной ткани для ингаляций; тем более что, по имеющимся данным, для терапевтического эффекта достаточно всего 5—10% нормально функционирующих клеток. Среди возможных векторов для доставки корректирующих ДНК к клеткам и тканям-мишеням при генотерапии муковисцидоза рассматриваются вирусные, плазмидные, липосомные и пептидные конструкции. Однако до клинических испытаний предстоит еще решить непростые вопросы взаимодействия генетических препаратов с клетками, устойчивости эффекта и т.д.

Перспективным методом генотерапии считается технология *ex vivo*, когда клеточный материал, взятый от пациента, реплантируется ему после экстракорпоральной генокоррекции. Уже есть пример успешного лечения семейной формы гиперхолестеринемии с использованием такого подхода.

⁶ Иванов В.И. и др. «CHRODYS»: интерактивная база данных по дисморфиям при анеусомиях у человека. М., 1994.

⁷ Иванов В.И. и др. «СИНГЕН-2»: компьютерная учебно-диагностическая система по 1920 синдромам врожденных пороков развития. М., 1994.

⁸ Баранов В.С. Самая современная терапия —

ЭТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Проникновение в медицинскую практику новейших биотехнологий привело к выделению из общей медицинской этики и деонтологии специального раздела — биоэтики, которая, впрочем, имеет уже полуторадесятилетнюю международную историю⁹.

Прежде чем давать этическую оценку действиям врачей-генетиков, попытаемся схематично представить основные этапы внутриутробного развития человека. Такое отступление поможет нам увидеть, как не прост ответ на кажущийся банальным вопрос о начальной точке новой телесной жизни человека со всеми вытекающими из него нравственными, правовыми, медико-биологическими и другими следствиями.

Предпосылкой для зарождения новой жизни служит раздельное в недрах мужского и женского организмов созревание половых клеток до почти полной готовности к слиянию одной женской половой клетки с одной мужской. При этом каждая из них привносит в объединенную результирующую клетку один из двух равноценных, взаимно дополняющих и строго индивидуальных комплектов генетического материала, совместное наличие которых, точно по одной дозе каждого, и обеспечивает начало и дальнейшую жизнь нормального организма.

Несоблюдение любого из названных условий означает потерю соответствующей клеткой способности к развитию, что и случается отнюдь не редко. Добрая половина женских половых клеток, приступивших к развитию, не достигает созревания, а из мужских клеток лишь ничтожная доля *pro mille* фактически участвует в оплодотворении. Лишь одна из сотен миллионов мужских половых клеток сливается с единственной созревающей женской половой клеткой.

Но и это еще не все. Генетический материал клеток-партнеров не вдруг объединяется в единый набор, а большинство из блуждающих уже слившихся клеток теряется в половых путях женского организма. Лишь спустя примерно две недели, как правило, единственная оплодотворенная яйцеклетка имплантируется в набухшую стенку матки, соединяется с материнским организмом плацентой и кровеносной сетью, обеспечивающей питание эмбриона и плода весь внутриутробный период. И только тогда оплодотворенная яйцеклетка благополучно вступает в фазу, которую можно считать точкой уверенного старта жизни нового организма. Именно в этот и более поздние сроки начавшейся беременности производятся операции абортов.

В связи со сказанным можно понять точку зрения о недопустимости искусственного прерывания беременности. Однако в случае рождения больного ребенка представляется неоправданной жестокостью оставлять несчастную женщину и ее семью самостоятельно преодолевать свое горе и проблемы — материальные, моральные, эмоциональные, в том числе угрозу распада семьи. Те, кто убеждает женщину не брать на душу грех изгнания вынашиваемого плода, а также и общество обязаны создать ей, ее семье и больному младенцу щадящие, комфортные условия, принять на себя необходимые затраты. Кроме того, врачи и другие работники здравоохранения должны обеспечить строгое сохранение врачебной тайны, чтобы защитить такую семью от возможной дискриминации в быту, при трудоустройстве и т.д.

Наметившиеся успехи в этиологическом лечении наследственных и врожденных болезней с помощью генотерапии привели к появлению нового направления, своего рода «молекулярного протезирования». Эта область уверенно набирает силу уже не только в лабораториях, но и в клиниках. Есть основание думать, что внедрение генотерапии в практику

⁹ Иванов В.И., Ижевская В.Л. Генетика человека: этические проблемы настоящего и будущего. Проблемы евгеники // Биомедицинская этика / Под ред. В.И.Покровского. М., 1987. С.98—115.

поможет снять и некоторые нравственные проблемы. Тем более что постоянное совершенствование новых медико-генетических технологий позволяет проводить генодиагностику и генотерапию на самых ранних сроках беременности, а иногда даже на мужских и женских зародышевых клетках в организмах супругов (так называемые пре-концепционные процедуры).

В международных документах Всемирной организации здравоохранения, ЮНЕСКО, Совета Европы и других признается этически допустимой только генотерапия соматических, но не зародышевых клеток, поскольку прогноз отдаленных последствий и побочных эффектов последней невозможен. Свою роль должны сыграть и методы подраживания и исследования эмбрионального материала вне организма.

Развитие геномных технологий порождает специфические биоэтические проблемы. Манипулирование с генетическим материалом и клетками человека сопряжено с взятием образцов биоматериала у индивидов для диагностики или экстракорпоральных изменений в интересах данного лица, его живущих или будущих потомков, или иных родственников. Кроме того, введение в организм человека генетического материала аутологического или чужеродного происхождения для коррекции работы его генома или иные способы генотерапии затрагивают интересы как непосредственно обследуемых или проходящих лечение лиц, так и их родственников и потомков: их здоровье, семейное положение, страхование, трудоустройство, собственность и др.

Генетические болезни — как правило, семейные, поражающие группу лиц в нескольких поколениях. Соответственно медицинская информация, включая данные о ДНК пробандов и их родственников, должна длительно храниться и использоваться в интересах как ныне живущих членов рода, так и их потомков. В группу риска попадают и здоровые люди, у которых наследственное заболевание проявится в более позднем, иногда пожилом

возрасте. В таких случаях наиболее точный прогноз может базироваться на ДНК-диагностике, если она технологически возможна.

Наибольшую опасность может представлять дискриминация отдельных лиц или групп на основе полученной о них генетической информации. Такая опасность возникает, когда к генетической информации получает доступ третья сторона, особенно работодатели, страхователи, работники образования. Этические проблемы изучения генома человека и использования геномных технологий в практике содержат ряд общечеловеческих аспектов, требующих тесного сотрудничества с Программой наследственных болезней Всемирной организации здравоохранения, Международными комитетами по биоэтике при Совете Европы и ЮНЕСКО и др. Тем более что эти международные организации уже разработали основные документы по данной проблеме. Очевидно, что правовая и этическая регламентация медицинских приложений геномных технологий в России должна строиться с учетом международного опыта. В этом плане разрабатываемые в настоящее время в Государственной Думе России законопроекты о правовых основах биоэтики в связи с новыми технологиями требуют еще серьезного усовершенствования.

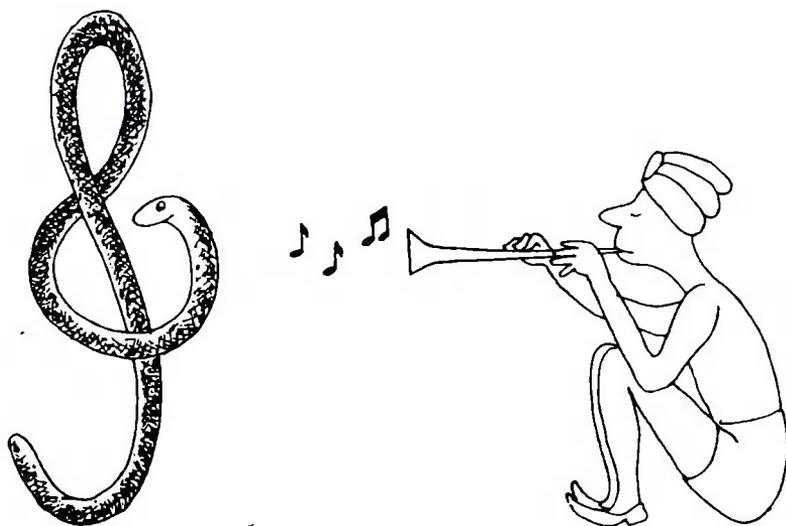
Среди медицинских приложений геномных технологий особняком стоят методы клонирования. Речь идет об эмбриональной микрохирургии по переносу хромосомного набора из соматических клеток организма-донора в лишённую собственного ядра яйцеклетку женщины-реципиента и вынашивание той же или, что более вероятно, другой женщиной, так называемого клонального плода¹⁰. Из млекопитающих пока имеются лишь единичные успешные опыты на овцах, сопровождавшиеся очень большим процентом неудач — в наиболее известном эдинбургском эксперименте из 277

¹⁰ Струнников В.А. Клонирование животных: теория и практика // Природа. 1998. № 7. С.3—9.

испытаний единственно удачной оказалась овца Долли. Очевидно, что всякие попытки перенесения таких методик на человека в настоящее время этически недопустимы. Более того, надо иметь в виду, что в этих случаях было бы получено не генетическое потомство супружеской пары, а очень близкое телесное подобие только одного из ее членов, как бы запоздалое появление на свет генетического близнеца донора хромосомного материала. Формирование же личности такого клонального организма будет определяться не только его генетической конституцией, но главным образом его воспитанием в конкретной семейной и социальной обстановке. В будущем, когда технология станет надежной, можно будет подумать о ее использовании для преодоления бесплодия супружеских пар. Но и тогда реализация клонирования вызовет ряд межличностных проблем, которые нужно будет решать. Все эти примеры показывают, что

для решения возникающих этических проблем требуется совместное компетентное участие медиков, генетиков, социальных работников и богословов. Вместе с тем существующие системы образования мало способствуют их взаимопониманию: медики и биологи не получают в высшей школе даже основ богословского образования, более того, врачи недостаточно подготовлены по биологии и генетике; с другой стороны, ни в светских гуманитарных вузах, ни в духовных школах практически нет основ биологии человека и медицины. Как зачатки к установлению взаимопонимания между названными специалистами в системе светского образования в России можно рассматривать медико-биологические факультеты в Москве и Томске, факультеты теоретической медицины в МГУ и ММА. Весьма своевременен проект создания аналогичного факультета в системе духовного образования при Православном университете в Москве.

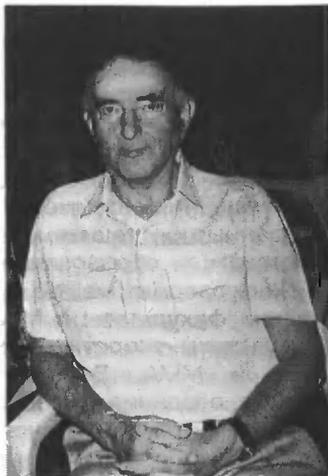
ЗЕРКАЛО «ПРИРОДЫ»



Рисовал Ф. Куриц. Из «Природы», 1972, №7.

От физики Земли к сравнительной планетологии

В. Н. Жарков



Владимир Наумович Жарков, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Область научных интересов — физика высоких давлений, физика земных и планетных недр, космогония, теория фигуры и собственных колебаний Земли и планет. Автор книг «Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах» (в соавторстве с В.А. Калининым. М., 1968); «Введение в физику Луны» (в соавторстве с В.А. Паньковым, А.А. Калачниковым, А.И. Осначом. М., 1969); «The Earth and its Rotation (with S.M. Molodenskiy, A. Brzezinski, E. Groten, P. Varga. Heidelberg, 1996); «Физика планетных недр» (в соавторстве с В.П. Трубицыным. М., 1980); «Внутреннее строение Земли и планет» (М., 1983). Заместитель главного редактора журнала «Астрономический вестник». Лауреат премии им. О. Ю. Шмидта (1980).

ОДНА из центральных проблем наук о Земле — геофизики, геохимии и геологии — построение теории образования Земли, ее начального состояния и эволюции.

Постановка аналогичной задачи об образовании и эволюции звезды, например Солнца, несоизмеримо проще. Известен первичный состав, из которого образуется звезда в результате коллапса уплотненной межзвездной материи. Кроме того, процесс звездообразования продолжается, и это дает возможность корректировать эволюционный трек звезды.

Впервые возраст Земли как планеты определил Клар Паттерсон в 1956 г. Его оценка $(4.55 \pm 0.07) \cdot 10^9$ лет хорошо согласуется с современной — $4.6 \cdot 10^9$ лет. Возраст древнейших горных пород земной коры около $4 \cdot 10^9$ лет. Таким образом, не привлекая данных о других телах Солнечной системы, мы не можем судить ни о том, как образовалась Земля, ни о ее эволюции в первые $0.6 \cdot 10^9$ лет. Из всех наблюдаемых геофизических и геологических явлений наиболее значителен с энергетической точки зрения поток тепла через поверхность Земли. Связанная с ним отдача энергии в единицу времени (для всей Земли 10^{28} эрг/год) в 10—100 раз больше, чем энергия, высвобождающаяся при землетрясениях и вулканической деятельности. В этом смысле и говорят, что тепловой поток из земных недр характеризует основной масштаб внутренней энергетики планеты и определяет интенсивность ее тепловой эволюции. По оценкам, тепловой поток из недр Земли в первые $0.6 \cdot 10^9$ лет был более чем в пять раз больше совре-

менной теплопотери. Это означает, что не располагая данными о жизни планеты в то время, мы не можем судить и о начальной ее эволюции, которая по своему масштабу эквивалентна эволюции в последние $3 \cdot 10^9$ лет.

Первые сейсмические эксперименты на Луне проводились в 1969 г. космическим аппаратом «Аполлон-11». Затем сейсмические станции устанавливались экспедициями «Аполлон-12, -14, -15, -16 и -17». В результате была построена сейсмическая модель Луны. Оказалось, что наш естественный спутник имеет мощную кору толщиной 60 км на видимой стороне и 100 км на обратной. Породы лунных материков имеют возраст $4.46 \cdot 10^9$ лет (интерпретируется как время образования лунной коры) и $3.86 \cdot 10^9$ лет (согласуется с возрастом Моря Дождей и интерпретируется как возраст выбросов при ударном образовании круговых морей). Для времени конденсации протопланетного облака принимают значение $4.57 \cdot 10^9$ лет. Следовательно, аккреция Луны с последующим плавлением (всей или заметной части) и ее кристаллизация были завершены довольно быстро. Отсюда был сделан важный вывод, что Луна и планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс) имеют горячее происхождение, т.е. в конце процесса формирования их недра были сильно разогреты и, возможно, частично расплавлены. Факт быстрого образования мощной коры на Луне привел к становлению новой идеи, согласно которой планеты земной группы в заключительной фазе своего формирования проходили через стадию «океана магмы». Под «океаном магмы» понимается частично расплавленный мощный наружный слой, заканчивающий рост планеты. Он перемешивается падающими планетезимьями — телами астероидных размеров. Измерение абсолютного возраста лунных пород, доставленных на Землю, позволило установить временную шкалу — определение возраста поверхности планет земной группы и

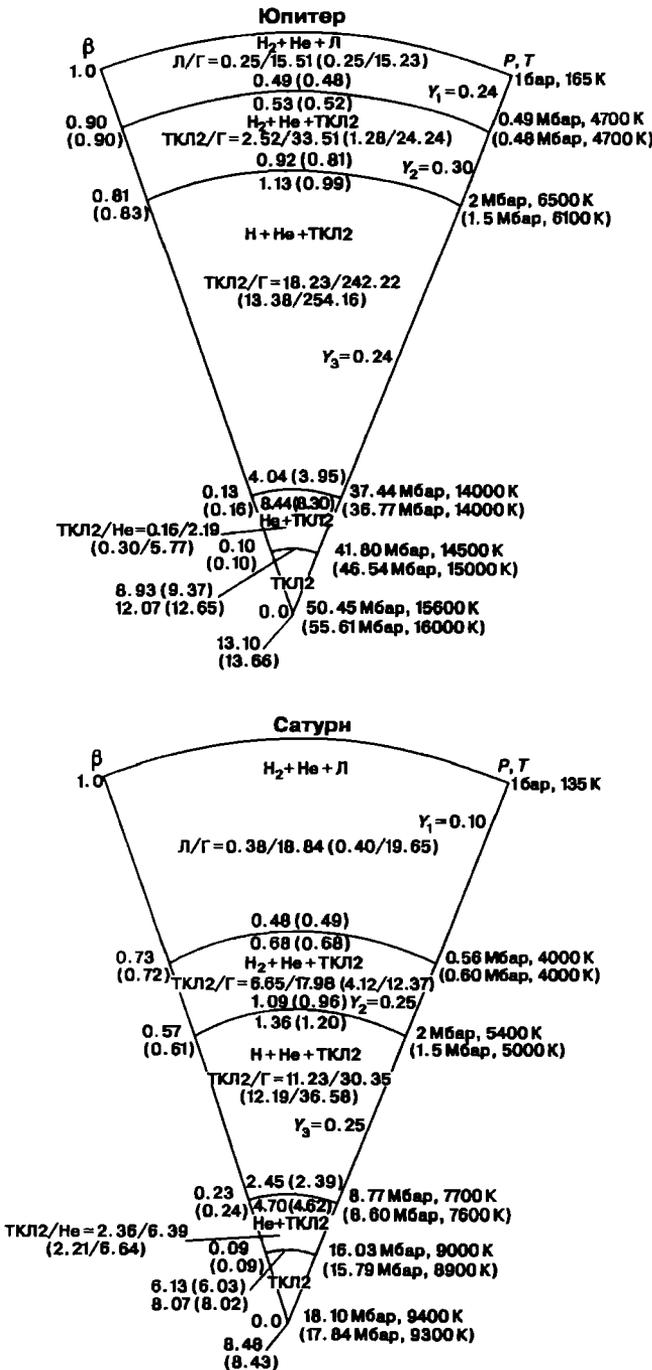
спутников планет-гигантов по плотности расположенных на ней кратеров. Исследование Луны так же показало, что заключительная стадия формирования планет и спутников Солнечной системы произошла $(3.9-4.1) \cdot 10^9$ лет тому назад, когда в результате катастрофической бомбардировки на поверхности Луны были образованы круговые моря. Мы не будем подробно останавливаться на популярной идее образования Луны в результате «мега-импакта» (столкновения космического тела размером с Марс с Протоземлей), при котором на околоземную орбиту был выброшен материал. Об этом в «Природе» уже писали¹.

Переходим теперь к самому важному и самому сложному вопросу: из какого материала и как формировалась Земля. Для ответа на него изложим некоторые космогонические идеи.

МОДЕЛИ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ И РОЛЬ ЮПИТЕРА В ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНЕТ

Планеты и спутники образовались из газопылевого дискообразного облака, в центре которого находилось молодое Солнце. Первичный состав Солнца по набору летучих компонентов разделяется на три группы. К первой относят водород (H_2), гелий (He), неон (Ne), азот (N_2) и оксид углерода (CO). Это так называемая газовая водородо-гелиевая компонента (Г-компонента), которая даже в зонах образования Юпитера и Сатурна не входит в пылевой конденсат. В Г-компоненте общая масса Ne, N_2 , CO менее одного процента. Вторую группу образуют вещества средней летучести. Это — Л-компонента (ледяная компонента). Основные ее составляющие — метан (CH_4), аммиак (NH_3) и вода (H_2O). В каком виде находились углерод и азот в зоне формирования Юпитера, до конца не ясно. Если при образовании Юпитера, масса которого $318 M_{\oplus}$

¹ Земля и Луна // Природа. 1994. № 3. С.3—47.

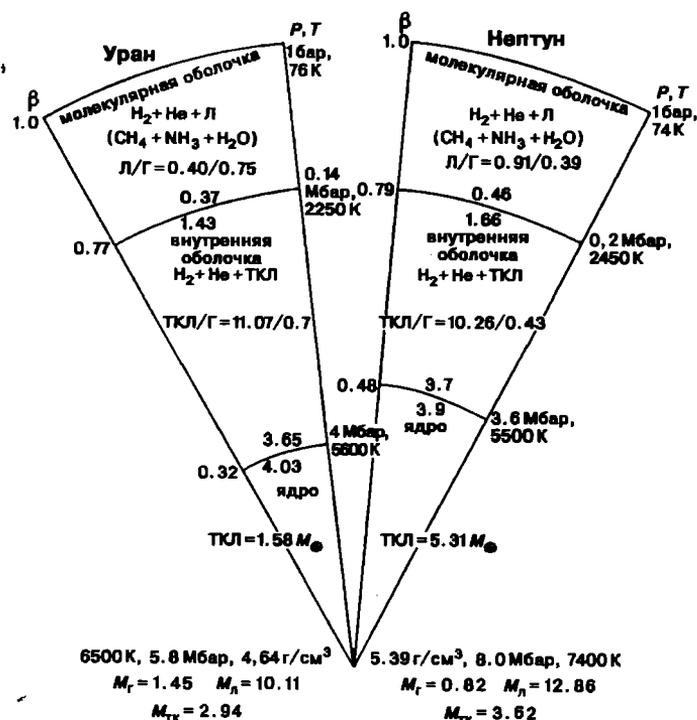


Модели Юпитера (вверху) MJ8 (переход водорода в металлическое состояние при 2 Мбар) и MJ10 (тот же переход при 1.5 Мбар) и Сатурна MS22 (тот же переход при 2 Мбар) и MS24 (переход при 1.5 Мбар). (Гудкова Т.В., Жарков В.Н. // Астрон. вестн. 1997. Т.31. № 2. Р.113—122.) Величины в скобках соответствуют моделям MJ10 и MS24. За поверхность в модели Юпитера принимается уровень с давлением 1 бар и температурой 165 К. Для Сатурна — $P=1$ бар, $T=135$ К. Температура в глубь планеты нарастает по адиабатическому закону. Слева приведены значения относительного радиуса $\beta = s/R$ на границах раздела, где s — текущий радиус. $R_J = 69894$ км — средний радиус Юпитера, $R_S = 60268$ км — средний радиус Сатурна. Справа приводятся значения давления и температуры, в центре — значения плотности по обе стороны границ раздела. Даны значения отношения $l(TKL)/\Gamma$ и относительного содержания гелия (γ) в оболочках. Содержание Γ -, L - и TK -компонент выражены в M_{\oplus} . Масса Юпитера $M_J = 318 M_{\oplus}$, масса Сатурна $M_S = 95 M_{\oplus}$. Пятислойная модель каждой из планет состоит из внешней и внутренней молекулярной оболочек, которые имеют разный состав, далее следует наиболее протяженная металлическая оболочка, граничащая с двухслойным ядром.

($M_{\oplus}=5.974 \cdot 10^{27}$ г — масса Земли), возникало протопитеро-во облако с концентрацией водородо-гелиевой компоненты на несколько порядков большей, чем в протосолнечном облаке, то углерод и азот образовывали CH_4 и NH_3 . В протосолнечном облаке преобладали N_2 и CO — вещества с очень низкими температурами конденсации — (16—19)К и (15—21)К соответственно. Если углерод образовывал CO , то в конденсате примерно в два раза уменьшалось содержание водяного льда. Нелетучие вещества объединяют в третью группу. В нее входят оксиды, сульфид железа, элементные железо и никель (SiO_2 , MgO , FeO , Al_2O_3 , CaO , FeS , Fe , Ni). Эти соединения в зонах формирования планет земной группы образовывали различные силикаты, о чем можно судить по составам метеоритов. Третью группу называют ТК (тяже-

лая компонента). Вещества ТК вместе с веществами Л-компоненты образовывали конденсат (пылевую составляющую) протопланетного газопылевого облака. Температура в газопылевом облаке спадала от Солнца к периферии, и соответственно состав конденсата зависел от расстояния до Солнца.

Земля формировалась на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца (а.е.=149.6 млн км) в восстановительной среде. Силикаты, входящие в ее состав, не содержали воды, а железо и никель были в самородном (неокисленном) состоянии. В поясе астероидов (2.1—4.3 а.е.) конденсировались гидросиликаты. В зоне формирования Юпитера (5.2±1 а.е.) конденсировались льды, в первую очередь H_2O . Из-за обилия кислорода в солнечном составе содержание водяного льда в Л-компоненте составляет более 50 мас.%, а отношение по



Трехслойные модели Урана и Нептуна. Обозначения те же, что на первом рисунке. Средний радиус Урана $R_U=25270$ км, Нептуна — $R_N=24764$ км. Внизу приведены массы Г-, Л- и ТК-компонент, выраженные в массах Земли.

массе L- и ТК-компонент в зонах образования планет-гигантов заключено в пределах 3.1—1.0. Начало конденсации льдов в зоне образования Юпитера, видимо, является одной из причин, почему Юпитер был первым среди планет. Более подробно об этом будет сказано ниже.

Современные представления о формировании планет были сформулированы О.Ю.Шмидтом еще в 40-е и 50-е годы². Он наметил следующую схему: вначале пыль в облаке концентрируется в центральной плоскости, и после достижения поверхностной плотности конденсата критического значения происходит распад слоя на пылевые сгущения, которые двигаются по кеплеровским орбитам и уплотняются в результате столкновений.

Наиболее длительная фаза в процессе возникновения планеты связана с аккумуляцией в результате столкновений планетезималей. Последний процесс как раз и определяет временную шкалу образования планеты. Идея применить уравнение коагуляции М.Смолуховского для оценки времени образования Земли принадлежит Б.И.Давыдову, а время формирования Земли $\sim 10^8$ лет получено В.С.Сафроновым³. В образовании планет-гигантов наряду с ТКЛ-компонентами принимает участие Г-компонент. Вначале появляется зародыш из материала конденсата по механизму, описанному выше. По достижении массы ядра критического значения (5 ± 2) M_{\oplus} в окружающем газе возникает неустойчивость, газ аккрецирует на ядро и так, схематически, образуется газово-жидкая планета-гигант, например Юпитер.

Идея о том, что все планеты-гиганты — газово-жидкие, адиабатические, конвективные тела, была выдвинута в середине 60-х годов в Институте физики Земли АН СССР, а их первые современные модели были построены

к середине 70-х годов⁴. Для этого потребовалось развить теорию равновесной фигуры в высших приближениях, вывести уравнения состояния основных космохимических элементов и их соединений при давлениях до 100 Мбар и температурах до нескольких десятков тысяч градусов, а также разработать методы построения моделей планет.

Схемы современных моделей Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна, приведенные на рисунках, содержат основную информацию об их недрах. Юпитер и Сатурн имеют пятислойное строение, а Уран и Нептун — трехслойное. По мере расширения базы данных наблюдений за планетами скорее всего «слоистость» планет-гигантов увеличится. В этом смысле наибольшее значение, видимо, будет иметь регистрация спектра собственных колебаний Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Но это уже задачи XXI в., а возможно, и XXII в.

Разъясним теперь смысл утверждения «планеты-гиганты — газово-жидкое тела». Критическое давление и критическая температура водорода равны 13 атм и 33К. При давлении и температуре выше критических значений не существует границы между газовой и жидкой фазами молекулярного водорода. Юпитер и Сатурн почти сплошь состоят из водорода, а Уран и Нептун покрыты водородными оболочками толщиной примерно в две десятых радиуса планеты, причем во всех четырех планетах водород находится в сверхкритической области. В результате, по мере погружения в глубь планеты, газовая атмосфера уплотняется под давлением вышележащих слоев и непрерывно (поскольку температура выше критической) переходит в жидкое, сравнительно плотное состояние, причем границы между газовой атмосферой и лежащей под

² Шмидт О.Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. Изд. 3-е. М., 1957.

³ Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М., 1969.

⁴ Жарков В.Н., Макалкин А.Б., Трубицын В.П. // Астрон. журн. 1974. Т.51. С.829—840; Там же. С.1288—1298; Жарков В.Н., Трубицын В.П., Царевский И.А., Макалкин А.Б. // Физика Земли. 1974. № 10. С.7—18.

ней жидкой планетой не существует. В адиабатических недрах Юпитера и Сатурна температуры в несколько раз выше температуры плавления водорода, а в большей части Урана и Нептуна температуры, вероятно, выше температуры плавления воды (второй по значению компоненты планет-гигантов). На основании этих аргументов и говорят, что недра всех планет-гигантов находятся в газовой-жидком состоянии, исключая, быть может, их небольшие центральные области. Представление о газовой-жидком состоянии планет-гигантов было разработано В.Н.Жарковым и В.П.Трубицыным в СССР. К близким представлениям в отношении Юпитера пришел независимо У.Б.Хаббард в США.

Важнейший космогонический вывод, который следует из моделей Юпитера и Сатурна, — заключение о сильном отклонении состава планет от первичного, солнечного. Обе планеты при своем образовании недобрали соединений Г-компоненты: Юпитер — 3—5 планетных масс, Сатурн — примерно 10. Это подтверждает схему образования планет, изложенную выше, и опровергает схему Лапласа: по ней протопланетный диск распадается на кольца, материал которых собирается в планету. В последнем случае планеты-гиганты имели бы солнечный состав элементов.

Перейдем к изложению идей, указывающих на огромную роль Юпитера в образовании планет⁵. Согласно современному космогоническому представлению⁶, зародыш планеты-гиганта (ее ТКЛ-ядро) в газовой среде образуется за характерное время t_f , которое, с одной стороны, пропорционально кеплеровскому периоду обращения вокруг Солнца, а с другой стороны, обратно пропорционально поверхностной плотности пылевой компоненты.

Таким образом, время формирования зародыша планеты зависит от расстояния до Солнца — $t_f \sim r^3$. Если подставить численные коэффициенты, полученные при точном выводе формулы для t_f (см. сноску 6), то получится, что для Сатурна $t_f \sim 10^9$ лет, для Урана — 10^{10} , а для Нептуна — 10^{11} . Эти значения намного превышают время образования всей Солнечной системы.

Выше уже отмечалось, что Юпитер и Сатурн при своем образовании недобрали до солнечного состава заметную долю Г-компоненты. Потеря газовой компоненты из протопланетного облака связана с энергетически активной стадией молодого Солнца, характерное время которой порядка 10^7 лет. В рамках нынешних космогонических концепций согласовать время образования Сатурна, Урана и Нептуна с временем пребывания Солнца в активной стадии (T Tauri $\sim 10^7$ лет) невозможно.

Чтобы обойти эту трудность, мы обратились к работам по численному моделированию поведения ансамблей планетезималей⁷. В них было показано, что при помещении в такой ансамбль некоторого зародыша с массой, в несколько сот раз большей массы Земли, новый объект сильно возмущает траектории планетезималей. В результате орбиты последних далеко отстоят от орбиты зародыша. Причем изменение орбит планетезималей происходит за космогонически короткое время.

Исходя из результатов численного моделирования, был предложен следующий механизм образования Сатурна, Урана и Нептуна. После аккреции газа Протоюпитер «расчистил» свою зону питания таким образом, что часть оставшихся тел выпала на планету. Орбиты же других тел стали проникать в области, удаленные от зоны роста Юпитера, например в зону формирования Сатурна. Некоторые из наибольших планетезималей, близкие

⁵ Zharkov V.N. The Role of Jupiter in the Formation of Planets // Geophys. Monograph 74, IUGG Am. Geophys. Union. 1993. V.14. P.7—17.

⁶ Hayashi C., Nakazawa K. and Nakagawa Y. Formation of the solar system // Protostars and Planets II / Eds D.C. Black and M.S. Matthews. Tucson, 1985. P.1100—1153.

⁷ Ip W.H. and Fernandez J.A. // Icarus. 1988. V.74. P.47—61; Ипатов С.И. // Астрон. вестн. 1989. Т.23. № 1. С.27—38.

по массе к критической массе зародыша Сатурна, были «вытолкнуты» в зону его питания за космогонически короткое время 10^4 – 10^5 лет, успев захватить газовую компоненту, которая аккрецировала на зародыш. В результате образовался Протосатурн. Два мощных гравитационных центра — Юпитер и Сатурн — достаточно быстро деформировали орбиты планетезималей, и они начали проникать вначале в зону питания Урана, а затем и Нептуна. Планетезимали с массами, которые в несколько раз больше массы Земли, захватили газовые оболочки во время пребывания в зонах питания Юпитера и Сатурна, еще до диссипации газа из протопланетного диска.

Большие зародыши Урана и Нептуна выполняли двойную роль. С одной стороны, в зоне питания Урана и Нептуна путем вычерпывания планетезималей за космогонически разумное время (10^8 лет) могло закончиться формирование обеих планет. С другой стороны, зародыши успели захватить водородные оболочки с массами 1 – $1.5 M_{\oplus}$, когда они находились в зонах питания Юпитера и Сатурна, еще до диссипации газа. Таким образом объясняется происхождение газовых компонент Урана и Нептуна, несмотря на то, что интервал времени, необходимый для образования обеих планет, заметно превосходит продолжительность стадии T Tauri. По нашему предложению С.И.Ипатов численно смоделировал роль Юпитера в образовании Сатурна, Урана и Нептуна⁸. Оказалось, что если вначале орбиты зародышей Сатурна, Урана и Нептуна имели большие эксцентриситеты, то затем по мере роста планет эти эксцентриситеты уменьшались и постепенно эволюционировали к их современным значениям. Конкретно, эксцентриситет зародыша Сатурна уменьшался за счет аккреции газа, а зародышей Урана и Нептуна — за счет гравита-

ционного взаимодействия с планетезималиями.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ МАРСА — КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Идея о том, что планеты земной группы сформировались из планетезималей с разной степенью окисленности, была конкретизирована Рингвудом⁹, далее ее развили в деталях немецкие космохимики Дрейбус и Вэнке¹⁰. Для объяснения наблюдаемой картины распространенности элементов в мантии Земли и Марса они предложили двухкомпонентную модель аккреции планет, состав которых рассматривается как некоторая смесь компонент А и Б.

Компонента А. Вещество сильно восстановлено и не содержит летучих компонентов, таких как Na, а отношения всех других элементов такие же, как в примитивных углистых хондритах класса C1. Железо и все сидерофильные элементы находятся в металлическом состоянии, и даже кремний проявляет металлические свойства, образуя твердый раствор с железом. Прототела, состоящие из компоненты А, заполняли зону питания формирующейся Земли.

Компонента Б. Вещество сильно окислено и содержит все элементы, включая летучие, с отношениями, как у метеоритов класса C1. Железо и все сидерофильные и литофильные элементы присутствуют в основном в виде оксидов. Из компоненты Б состояли прототела зоны, где в настоящее время расположен пояс астероидов.

Дрейбус и Вэнке пришли к заключению, что компоненты А и Б в Марсе смешаны в отношении 60:40, а в Земле — 85:15, и аккумуляция Марса шла почти однородно в противоположность химически неоднородной аккумуляции Земли.

⁹ Ringwood A.E. // Origin of the Earth and Moon. N.Y., 1979.

¹⁰ Dreibus G., Waenke H. Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres / Eds S.K. Atreya, J.B. Pollack, M.S. Matthews. Tucson, 1989. P.268–288.

⁸ Ипатов С.И. // Письма в «Астрон. журн.». 1991. Т.17. С.268–280.

Считается, что первой из планет образовался Юпитер. Благодаря мощному гравитационному полю ранний Юпитер разбросал оставшиеся прототела из своей зоны питания. Эти прототела, а также резонансные взаимодействия разрушили зону питания планеты, которая могла сформироваться в поясе астероидов, и сильно уменьшили количество прототел в зоне питания молодого Марса, приостановив его рост. Именно поэтому масса Марса оказалась на порядок меньше. Влияние Юпитера и является причиной двухкомпонентного формирования планеты земной группы.

Именно в модели внутреннего строения Марса должна ярче всего проявиться двухкомпонентность¹¹. В процессе образования Марса в его ядро могло попасть заметное количество водорода, что могло привести к понижению плотности ядра и уменьшению его температуры плавления.

Прямых данных о Марсе, которые можно использовать для построения модели его внутреннего строения, мало. Это средний радиус планеты $R=3390$ км, средняя плотность $\rho_0=3.94$ г/см³ и приведенный момент инерции планеты (I), который удалось определить в самое последнее время в результате космической миссии «Mars Pathfinder»¹²

$$I = (A + B + C) / 3MR^2 = 0.363 - 0.367, (1)$$

где A и B — главные экваториальные, а C — полярный моменты инерции, $M=6.43 \cdot 10^{26}$ г — масса планеты. Значение момента инерции накладывает весьма сильное ограничение на модель внутреннего строения Марса. Один из центральных вопросов в исследовании Марса — насколько химическая модель Дрейбуса и Вэнке, дающая массовое отношение Fe/Si = 1.71, согласуется с моделями внутреннего строения, которые удовлетворяют условию (1). Если учесть, что содержание железа в марсианской коре должно быть боль-

ше, чем в силикатах мантии, а содержание водорода в ядре варьирует от 0 до 50 мол.%, то массовое отношение Fe/Si меняется¹³ от 1.525 до 1.695, что удовлетворительно согласуется с отношением 1.71 в химической модели Марса. Для дальнейшего решения обсуждаемой проблемы нужно с достаточной точностью определить радиус ядра планеты.

ОТ СТАТИЧЕСКОЙ К ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Скажем несколько слов о ситуации, которая складывается в центральной нерешенной задаче современной геофизики — построении реальной динамической модели Земли. До сих пор все модели Земли были сферически симметричными, статическими. Последняя, пользующаяся популярностью до сих пор, — это модель PREM¹⁴. До регистрации спектра собственных колебаний, вызванных катастрофическим Чилийским землетрясением 22 мая 1960 г., основная трудность в построении хорошей сферически симметричной модели Земли состояла в том, что объемные сейсмические волны просвечивают только часть земных недр. Периоды же собственных колебаний зависят от усредненных свойств недр, они «показывают» и те зоны, о которых нет данных по сейсмическим волнам. В 40-х годах К.Э.Буллен (1906—1976), построивший первые современные модели, ввел буквенные обозначения для различных зон Земли. В модели PREM это: (0—3 км) — водная оболочка, A (3—24 км) — земная кора, B (24—400 км) — подкорковая зона мантии, C (400—670 км) — зона фазовых переходов, $B + C$ — верхняя мантия, D' (670—2741 км) — сравнительно однородная зона нижней мантии, D'' (2741—2891 км) — неоднородная зона нижней мантии, $D' + D''$ — нижняя мантия, E (2891—5149.5 км)

¹¹ Жарков В. Н. // Астрон. вестн., 1996. Т.30. № 6. С.514—524.

¹² Folkner W.M., Loder C.F., Yuan D.N. et al. // Science. 1997. V.278. P.1749—1751.

¹³ Жарков В.Н., Гудкова Т.В. // Астрон. вестн. 1998. Т.32. № 5. С.403—412.

¹⁴ Dziewonski A.M. and Anderson D.L. // Phys. Earth and Planet. Inter. 1981. V.25. P.297—356.

Таблица 1

Состав среднего мантийного пиролита, мас. % (по А. Рингвуду)

SiO ₂	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	NiO	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅
45.1	38.1	7.6	0.3	4.6	3.1	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.02	0.02

Таблица 2

Минеральный состав пиролита на глубине 150—400 км

Минеральная фаза	Мас. %
Оливин (Mg,Fe) ₂ SiO ₄	57
Ортопироксен (Mg,Fe)SiO ₃	17
Омфацитовый клинопироксен (твердый раствор): (Ca,Mg,Fe) ₂ Si ₂ O ₆ —NaAlSi ₂ O ₆	12
Пироп (Mg,Fe,Ca) ₃ (Al,Cr) ₂ Si ₃ O ₁₂	14

— внешнее жидкое ядро, G (5149.5—6371.0 км) — твердое внутреннее ядро. Зона F — переходная между зонами E и G, но, по последним данным, граница внутреннего ядра достаточно резкая, и зона F не фиксируется. Успех модели PREM обусловлен тем, что в ней распределение плотности $\rho(r)$, а также скоростей продольных $V_p(r)$ и поперечных $V_s(r)$ волн в недрах Земли описывается простыми гладкими функциями радиуса. Эта простота важна при работе с моделью Земли.

После создания тектоники плит в конце 60 — начале 70-х годов, когда стало ясно, что наружный жесткий слой — океаническая литосфера — это тепловой погранслои конвективной мантии, а континентальная литосфера — химический погранслой, стало понятным, что неоднородность Земли имеет принципиальное значение для динамики недр, для понимания того, каким образом происходит развитие планеты во времени.

Очень важная проблема — определение первичного состава недифференцированной мантии Земли. Ультрасовременные горные породы представляют собой тугоплавкие остатки после выплавления базальта. Рингвуд в 1962 г. предложил считать первичной недифференцированной силикатной мантией пиролит — гипотетическую пирок-

сеново-оливиновую породу. Состав пиролита (табл.1) определяется тем условием, что при фракционном плавлении он дает базальтовую магму, а отношение базальт/перидотит принято равным 1/3. Состав мантии Земли может моделироваться в рамках системы SiO₂—MgO—FeO—Al₂O₃—CaO (табл.1). Устойчивая минеральная ассоциация для пиролита в интервале глубин 150—400 км показана в табл.2.

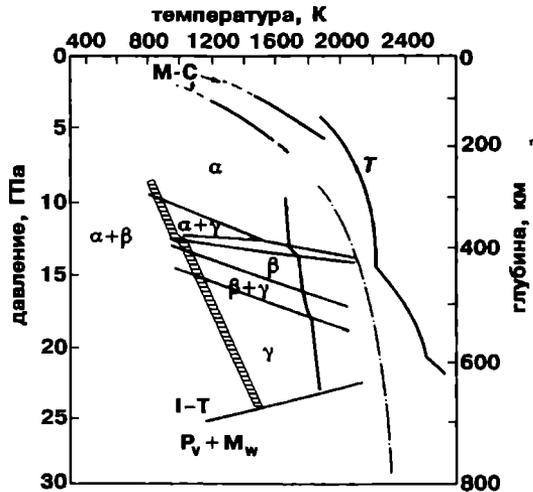
Основной минерал в этой зоне верхней мантии — оливин, и фазовая диаграмма оливинов используется для интерпретации главных сейсмических границ в мантии. Граница на глубине 400 км обусловлена переходом оливинов в шпинелевую модификацию, а на глубине 670 км — дальнейшим переходом в высокобаричную силикатную Mg-перовскитовую фазу (Mg,Fe)SiO₃ и магнезиовюстит (Mg,Fe)O. Согласно тектонике плит, новая океаническая литосфера рождается в осевой зоне срединноокеанических хребтов — местах расположения рифтов. По мере раздвижения дна океаническая литосфера охлаждается и постепенно приобретает заметную отрицательную плавучесть. Погружение ее холодных блоков происходит в океанических желобах, расположенных вблизи островных дуг или так называемых активных континентальных окраин. Характерный пример такой зоны — западное побережье Южной Америки. Погружающиеся холодные литосферные блоки — самые заметные неоднородности мантии, нарушающие сферическую симметрию недр Земли. Данные сейсмической томографии указывают на то, что многие такие блоки при приближении к глубине 670 км (границе верхней и нижней мантии) отклоняются в сторону. На этой глубине происходит накопление бывшего литосферного материала. Если у накопившегося литосферного материала набирается до-

статочной отрицательной плавучести, то он может прорваться в нижнюю мантию. В противном случае рано или поздно этот материал перемешивается в конвективной верхней мантии.

С помощью фазовой диаграммы оливинов и других данных, полученных в лабораториях высоких давлений, удалось определить распределение температуры в различных зонах верхней мантии. Эти замечательные достижения показаны на последнем рисунке.

Большой интерес представляет минералогический состав пиrolитовой нижней мантии (табл.3). Используя значения коэффициентов теплового расширения, С.Кессон с соавторами определили необходимую разность температур в нижней мантии и литосферном блоке, при которой последний, обладая отрицательной плавучестью, погружается или приходит в состояние нулевой плавучести и в конечном итоге перемешивается в конвективной нижней мантии¹⁵. При этом принималось во внимание, что пиrolитовая нижняя мантия содержит (мас. %): магнезиовюститита — 22%, Mg-перовскита — 69% и Ca-перовскита — 9%. Погружающиеся блоки состоят из перидотита, обедненного базальтом, и примерно шестикилометрового слоя океанических базальтов (MORB). Обедненный перидотит состоит из Mw(Mg#87.0) — 24%, MgPv(2% Al₂O₃; Mg# 93.7) — 71%, CaPv — 5%. Минеральный состав MORB в нижней мантии следующий: MgPv(20% Al₂O₃; Mg#71.0) — 36%, CaPv — 31%, стишовит — 14%, (Mg,Fe,Na)AlSiO₄ (тв.р.) — 19%.

Результаты сейсмической томографии показывают, что большинство блоков, проникающих в нижнюю мантию, достигает глубины 1500 км и только две плиты — Японская и Фаралон — доходят до границы мантии с ядром. По лабораторным данным, базальтовый слой в погружающемся блоке должен переходить в



Температурные профили в нормальной мантии (утолщенная сплошная кривая) и в погружающемся блоке литосферы (заштрихованная полоса). Рассчитанные фазовые границы в системе $(\alpha-\beta-\gamma)$ -фаз для состава $(Mg_{0.89}Fe_{0.11})_2SiO_4$ показаны цветными линиями. Буквами обозначены: I-T — граница диссоциации фазы со структурой шпинели на $(Mg,Fe)SiO_3$ и $(Mg,Fe)O$ (Е.Ито и Е.Такахаси, 1989); M-C — пироксеновые геотермы под океанами (высокотемпературная кривая) и континентами (низкотемпературная) (Ж.Мерсье и Н.Картер, 1975). T — кривая плавления сухих перидотитов (Е.Такахаси, 1986; М.Акаоги, Е.Ито, А.Навроцкая, 1989); Pv+Mw — перовскит + магнезиевый вюстит.

перовскитовую фазу на глубине 1100 км. По расчетам, погружающийся блок с нулевой плавучестью должен быть на $\sim 250 \pm 50^\circ C$ холоднее окружающей мантии на глубине 1100 км и на $\sim 350^\circ C$ холоднее на глубине 1500 км, а на границе мантии с ядром он должен быть холоднее окружающего пиrolита на $\sim 650 \pm 100^\circ C$. Напомним, что скорости погружения блоков составляют несколько см в год, и поэтому достичь границы мантии с ядром могут только блоки, погружающиеся с наибольшими скоростями. Эти оценки показывают, что литосферный материал, достигший границы мантии с ядром, скорее всего прогреется до состояния положительной плавучести и будет принимать участие в конвекции нижней мантии.

В настоящее время большое

¹⁵ Kesson S.E., Fitz Gerald J.D. and Shelley J.M. // Nature. 1998. V.393. № 6682. P.252–255.

Таблица 3

Химический состав оксидов в пиролите при давлении 70 и 135 ГПа (мас.%)

	MgPv 70 ГПа	Mw 70 ГПа	CaPv 70 ГПа	MgPv 135 ГПа	Mw 135 ГПа	CaPv 135 ГПа
SiO ₂	56.9	н.п.о.	54.0	55.4	н.п.о.	51.2
TiO ₂	0.2	н.п.о.	н.п.о.	0.5	н.п.о.	сл.
Al ₂ O ₃	5.6	1.2	0.7	5.0	0.8	1.0
Cr ₂ O ₃	0.5	1.1	н.п.о.	0.5	0.8	н.п.о.
MnO	н.п.о.	сл.	н.п.о.	н.п.о.	сл.	сл.
FeO	4.7	23.0	1.9	4.5	24.0	2.2
MgO	31.1	71.5	3.7	32.9	71.9	6.1
NiO	н.п.о.	0.5	н.п.о.	н.п.о.	0.4	н.п.о.
CaO	0.6	н.п.о.	37.7	1.2	н.п.о.	36.6
Na ₂ O	сл.	2.1	н.п.о.	н.п.о.	1.6	0.9
K ₂ O	н.п.о.	н.п.о.	1.6	н.п.о.	н.п.о.	1.8
Mg#	92.2	84.7	92.8	84.2		

Точность определения всех элементов составляет около 1 отн.%. MgPv — магниевая силикатная перовскитовая фаза, CaPv — кальциевая силикатная перовскитовая фаза, Mw — магнезиовюстит, н.п.о. — ниже предела определения, сл. — следы, Mg# = $100 \cdot \text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$ — магнезиальность, где MgO и FeO мол.%.

внимание уделяется исследованию 200—300 километрового нижнего слоя мантии (зона D'), который является дном конвективной системы. В мантии также по сейсмическим данным определяют анизотропные слои, непосредственно свидетельствующие о течениях мантийного материала, при которых происходит его структурирование.

Таким образом, статическая, сферически симметричная модель Земли, например модель PREM, при усреднении «портит» реальные свойства нисходящих и восходящих потоков конвективной мантии и сравнительно статические ее области, наделяя их некоторыми эффективными свойствами. Поэтому в будущем модели типа PREM будут использоваться, как модели нулевого приближения.

Итак, в динамической модели силикатной оболочки Земли выделяются океаническая и континентальная литосфера, погружающиеся блоки литосферы, мантийные перегретые восходящие плюмы, горячие пограничные слои с повышенными диссипативными свойствами, анизотропные слои, зоны пониженных сейсмических скоростей. Кроме того, нужно установить топографию сейсмических границ на глубинах

400 и 670 км, границу мантии с ядром, а также ширину переходных зон у этих границ. Должны быть разработаны методы, позволяющие систематизировать особенности мантии для построения простой и обзримой модели.

Земное ядро разделяется на внешнее, жидкое проводящее ядро, и внутреннее, твердое. Последнее обладает анизотропией, похожей на анизотропию кристаллов ϵ -фазы железа, которая имеет гексагональную симметрию. Ось симметрии анизотропной структуры ядра наклонена примерно на 10° к оси вращения планеты. Предположение о том, что внутреннее ядро может медленно вращаться относительно мантии, было выдвинуто давно — течения во внешнем жидком ядре могут приводить к дифференциальному вращению внутреннего ядра в прямом или обратном направлении. В 1996 г. Сонг и Ричардс¹⁶, анализируя данные за последние 20 лет прохождения продольных сейсмических волн по определенным трассам через внутреннее ядро, обнаружили системати-

¹⁶ Song X., Richards P. G. // Nature. 1996. V. 382. P.221—224.

ческие вариации во временах пробега этих волн. Они пришли к заключению, что внутреннее ядро находится в прямом дифференциальном вращении относительно мантии со скоростью примерно $1^\circ/\text{год}$. Это открытие, сделанное на пределе возможностей современной сейсмологии, вызвало заметное возбуждение в среде геофизиков. Значение дифференциального вращения для физики земного ядра огромно. Это важное ограничение для любой теоретической модели конвекции в жидком внешнем ядре, генерирующей магнитное поле.

В настоящее время наблюдается заметное оживление в исследовании ядра Земли. Это связано с рядом причин: 1. Нескольким группам ученых удалось решить полную систему трехмерных уравнений магнитной гидроди-

намики земного ядра в постановке задачи, близкой к реальной. Причем полученные результаты объясняют ряд особенностей геомагнитного поля. 2. Созданы лабораторные установки, в которых на основе законов подобия также исследуется задача генерации магнитного поля. 3. Продолжаются поиски объяснения анизотропии и других особенностей внутреннего ядра. 4. Большое внимание уделяется изучению границы ядро—мантия и ряда других проблем физики ядра. Мы не будем здесь останавливаться на проблемах ядра более подробно.

Дальнейшее решение всех вопросов, рассмотренных в статье, будет происходить уже в следующем столетии.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ. Проект 96-02-16923.

НОВОСТИ НАУКИ

Астрономия

Источник жизни — красные астероиды?

Группа астероидов, именуемых Кентаврами, располагается далеко за орбитой Юпитера. Это сравнительно небольшие, диаметром от 100 до 400 км, небесные тела, которые в отраженном солнечном свете выглядят голубоватыми.

Шесть из Кентавров были тщательно изучены астрономами, возглавляемыми Д.Вайнтраубом (D.Weintraub; Университет Вандербильта, Нэшвилл, штат Теннесси, США). Наблюдения велись на трехметровом инфракрасном телескопе обсерватории Мауна-Кеа (штат Гавайи) и на оптическом телескопе Стьюардской обсерватории на горе Китт-Пик (штат Аризона). На конференции Американского астрономического общества

(июнь 1997 г., Уинстон-Сейлем, штат Северная Каролина) исследователи изложили результаты своих наблюдений, которые показали, что в спектрах двух из астероидов — 5145 Фолус и 1995 GO — ярче представлен красный цвет, чем в спектрах иных известных астероидов Солнечной системы.

По мнению Вайнтрауба, причиной странного цвета может служить то, что астероиды покрыты органическим веществом, сохранившимся без изменений с эпохи формирования Солнца и планет. Надо полагать, что эти небесные тела сравнительно недавно «выпали» из пояса Койпера, находящегося за орбитой Плутона. Там они, по-видимому, не подвергались нагреву и столкновениям с другими астероидами, что могло бы привести к эрозии и распылению поверхностных краснокрасных пород. Теперь орбиты 5145 Фолус и 1995

GO оказались нестабильными; они сильно вытянуты и заходят во внутреннюю область Солнечной системы.

Каждые 10—100 млн лет Кентавры проходят в непосредственной близости от гиганта Сатурна, тяготение которого отклоняет Кентавра, выбрасывая его или в межзвездное пространство, или в более близкие к Солнцу районы. В отдаленном прошлом это могло приводить к столкновению того или иного Кентавра с Землей и приносу на ее поверхность органических материалов.

Если красные Кентавры действительно покрыты слоем пород, насыщенных углеродом и азотом, подобный процесс мог играть существенную роль в «заселении» нашей планеты. Однако Вайнтрауб признал, что пока мы еще не можем с точностью судить о составе красных пород на астероидах.

New Scientist. 1998. V.154. № 2068. P.17 (Великобритания).

М.И.Будыко — лауреат премии «Голубая планета»

В НАЧАЛЕ июня 1998 г. Фонд Асахи Гласс Фаундейшн (Asahi Glass Foundation) объявил о присуждении действительному члену Российской академии наук Михаилу Ивановичу Будыко ежегодной премии «Голубая планета». Она присуждается с 1992 г. двум ученым или организациям, чьи работы способствуют решению глобальных проблем окружающей среды и выживания человечества¹.

М.И.Будыко — первый российский ученый, получивший эту высокую награду — за основополагающий вклад в физическую климатологию и количественный анализ изменений климата. Вторым лауреатом стал американский исследователь Д.Броуер (D.R.Brower), удостоенный премии за выдающиеся достижения в деле защиты окружающей среды². Церемония награждения прошла в Токио 29 октября 1998 г.

М.И.Будыко родился 20 января 1920 г. Окончив Ленинградский политехнический институт, начал свою научную деятельность в 1942 г. в Свердловске в эвакуированной туда из Ленинграда Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. Ее директором Будыко стал в 1954 г. и руководил обсерваторией в течение 19 лет. С 1975 г. по настоящее время он заведует отделом изменений климата и влагооборота в атмосфере Государственного гидрологического института Роскомгидромета.



Михаил Иванович Будыко.

М.И.Будыко принадлежит к плеяде ученых, понимающих смысл и логику развития науки, предвидящих ее магистральные направления и социальное значение, именно поэтому он со временем стал лидером мирового масштаба. Многие результаты его исследований, в том числе полученные на самых ранних этапах его почти шестидесятилетней научной деятельности, сохраняют свое значение и сейчас, получая новое звучание.

В сообщении Фонда о присуждении М.И.Будыко премии 1998 г. отмечается, что в 50-х годах доктор Будыко рассчитал тепловой баланс поверхности Земли с учетом падающего потока

солнечной энергии³. До того времени климатология была лишь описательной (качественной) дисциплиной. Исследования Будыко произвели революционный переворот в этой науке, сделав ее дисциплиной количественной. Кроме того, под руководством Будыко в 1963 г. был опубликован Атлас теплового баланса земного шара. Эта работа сыграла важную роль в изучении и решении глобальных проблем окружающей среды, в том числе в развитии теории климата.

При этом Будыко изучал не только абiotические процессы, определяющие климат, но и влияние на него биоты и деятельности человека. Такой анализ взаимоотношений между климатом

¹ Астахова О.О. Премия «Blue Planet» // Природа. 1997. № 12. С.68—69.

² Nature. 1998. V.394, №6693

³ Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., 1956.

и жизнью на Земле стал основной особенностью всех его исследований.

В 1972 г. многие ученые предсказывали, что глобальный климат входит в фазу охлаждения. Однако Будыко, основываясь на количественном анализе, предупредил, что потребление ископаемого топлива увеличивает атмосферную концентрацию углекислого газа, которая приводит к росту средних температур.

М.И.Будыко пришел к выводу, что если начнется ядерная война и в атмосферу попадет большое количество аэрозоля, то произойдут угрожающие существованию человечества изменения климата⁴. Эти предупреждения ученого о «ядерной зиме» были сделаны в начале 80-х годов. Представляется, что они способствовали подписанию договора между Соединенными Штатами и бывшим Советским Союзом о сокращении ядерных вооружений. Такого вкратце международное понимание роли Михаила Ивановича Будыко в развитии науки об окружающей среде. К этому хотелось бы добавить некоторые собственные соображения, поскольку авторы этих строк знакомы с его деятельностью на протяжении примерно сорока последних лет и тесно сотрудничали с ним по проблеме глобального климата и его изменений.

Еще в конце 40-х годов М.И.Будыко, занимаясь процессами испарения в природе, количественно описал, как испаряется влага с поверхности почвы, предложив концепцию предельной влагоемкости почвы⁵. Согласно этой концепции, верх-

ний ее слой может быть насыщен влагой не более чем на некоторую глубину (обычно в среднем принимается 15 см), а ее избыток формирует речной сток. Этот вывод оказался настолько прост, удобен и, главное, адекватен процессам влагообмена в почве, что с небольшими вариациями и сейчас, спустя 50 лет, он употребляется во всех физико-математических моделях теории климата и его изменений. За выдающийся вклад в гидрологические науки Американский геофизический союз присудил в 1995 г. М.И.Будыко медаль Хортон.

О значении исследований теплового баланса земной поверхности упоминалось выше. Хотелось лишь добавить, что монография М.И.Будыко на эту тему получила в 1958 г. Ленинскую премию. Оба издания, монография и Атлас, переведены на иностранные языки и стали настольными книгами климатологов мира (в чем авторы этой публикации неоднократно сами убеждались). Интересно напомнить, что этими трудами Будыко решил задачу, поставленную в конце XIX в. выдающимся русским климатологом А.И.Воейковым, который пытался составить приходно-расходную книгу преобразований солнечной энергии на Земле.

С начала эры численного моделирования климата — первая модель была создана С.Манабе (S.Manabe) в первой половине 70-х годов в Лаборатории геофизической гидродинамики в Принстоне, США; он же стал первым лауреатом премии «Голубая планета» — «Атлас» Будыко не только не потерял своего значения, но стал тем репером, с которым сравниваются модельные результаты. Но прошло немало времени с его создания. Будем наде-

яться, что в XXI в. найдутся средства, а главное, люди, способные доказать необходимость составления уточненного теплового баланса планеты с учетом самых современных данных — спутниковых, морских, — дополнен их картами (в том числе в электронном виде) изменчивости компонент баланса.

Со второй половины 60-х годов проблема климата и его изменений становится главной в области интересов Будыко. В 1968 г. в «Докладах АН СССР»⁶ он публикует модель климата, названную затем в зарубежных публикациях «энерго-балансовой». Она положила начало новому направлению научных исследований, созданию целой иерархии физико-математических моделей. Модель Будыко впервые четко указала на существование обратных связей — положительных и отрицательных — в климатической системе. За прошедшие 30 лет эти понятия прочно вошли в арсенал физической теории климата и являются одним из главных средств для осмысления результатов наблюдений и численных моделей. В своей модели Будыко количественно описал положительную обратную связь между глобальной температурой поверхности Земли и размерами оледенений: чем больше площадь снежно-ледового покрова, тем больше солнечной радиации отражается от поверхности Земли, тем ниже средняя температура земного шара. К отрицательной обратной связи он отнес зависимость температуры поверхности от количества облаков. Чем выше температура, тем больше давление насыщенного водяного пара,

⁴ Будыко М.И. Аэрозольные климатические катастрофы // Природа. 1985. № 6. С.30—38.

⁵ Будыко М.И. Испарение в природе. Л., 1948.

⁶ Расширенный вариант опубликован в международном журнале «Теллус»: Будыко М.И. // Tellus. 1969. V.20. № 5. P.611—619.

больше его потоки в атмосферу, больше образуется облаков, большим становится альbedo, но тем меньше солнечного излучения приходит к земной поверхности. Другими словами, водяной пар эффективно регулирует температуру.

Выработка и использование новых понятий в науке — одно из главных условий ее прогресса, и здесь заслуга Будыко бесспорны. Высказав в 1971 г. казавшиеся тогда парадоксальными соображения о глобальном потеплении благодаря росту содержания углекислого газа в атмосфере и даже представив попытку прогноза климата до конца XX в. (в целом прекрасно оправдавшуюся, как мы знаем сейчас), Будыко встретил недоверие многих коллег, считавших в ту пору, что климат Земли медленно холодает. Пытаясь доказать правильность своей точки зрения, Будыко организовал для этой серьезной и большой работы не только своих сотрудников, но и увлек работников целого ряда институтов Академии наук СССР в Москве, Ленинграде, Новосибирске и других городах. В Государственном гидрологическом институте им были созданы сильные группы специалистов, изучавших палеоклимат, углеродный цикл, влияние изменений климата на сельское хозяйство, водные ресурсы, биосферу.

Это было время своевременных зарплат и регулярного финансирования командировок, экспедиций, конференций и т.п., но именно наличие авторитетного лидера было решающим для развертывания серьезных исследований в нашей стране. Изучение палеоклимата, например, проводилось в Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова и в Ин-

ституте географии АН СССР. На основе этих работ были составлены карты распределения температуры и осадков в теплые и холодные сезоны для заданных среднеглобальных температур на территории СССР, а затем и всего мира. Они относились к трем периодам: оптимум голоцена (6—5.5 тыс. лет назад), когда средняя глобальная температура была на 1°С выше, чем в середине XX в., межледниковью (125 тыс. лет назад), когда она была выше на 2°С и миоцену (3—4 млн лет назад), когда среднеглобальная температура превышала современную на 3—4°С. Смысл этих построений заключался в том, что глобальные изменения температуры, каковы бы ни были их причины (увеличение парниковых газов или другие), при заданном распределении суши и океанов на региональном уровне сказываются сходным образом. Полагая, что оптимум голоцена по температуре будет соответствовать концу XX — началу XXI в., Будыко с сотрудниками в 1987 г. обосновали повышение уровня Каспийского моря, его небольшое падение в середине 90-х годов и дальнейшее повышение в следующем столетии. Этот прогноз также прекрасно оправдывается на наших глазах.

Под руководством Будыко со второй половины 70-х годов начались работы по составлению рядов среднеглобальной температуры, сначала с 1891 г. для суши Северного полушария, а потом и для всего земного шара. Эти исследования дали импульс для проведения аналогичных работ в Англии и в США. Согласно последним данным, которые охватывают весь земной шар, включая океаны, с 1856 г., последнее десятилетие 1988—1997 гг. содержит

семь из десяти самых теплых лет на Земле из этого ряда, а 1998 г. обещает дать новый рекорд.

Громкую роль для развития отечественной и мировой науки о климате и его изменениях сыграла в 1976—1994 гг. деятельность VIII Рабочей группы советско-американского соглашения 1972 г. по защите окружающей среды. С нашей стороны Будыко все эти годы был сопредседателем этой группы, координирующей совместные работы СССР и США в области климата и физики атмосферы. Кроме ежегодных рабочих совещаний проводились и небольшие симпозиумы. Первые 10 лет работы группы они происходили в основном в СССР, поскольку Будыко был долгое время «невъездным». Представители США говорили: «Если Будыко не может к нам приехать, мы приедем к нему». В середине 90-х годов в связи с появлением новых форм сотрудничества между учеными США и России деятельность этой группы постепенно угасла.

Работы Будыко неоднократно отмечались премиями Академии наук (премии им.А.П.Виноградова, им.Л.С.Берга, им.А.А.Григорьева). Он награжден медалью Всемирной метеорологической организации, высшей наградой этого специализированного учреждения ООН, и упомянутой медалью Хортонна.

Нельзя не сказать и о выдающихся исследованиях роли климата и его изменений в эволюции жизни на Земле, отраженных в монографиях Будыко «Климат и жизнь» (1974), «Эволюция биосферы» (1984). К ним же относятся и те работы, что вошли в монографии «История атмосферы» (1985), в соавторстве с А.Б.Роновым и А.Л.Яншиным и «Глобальные

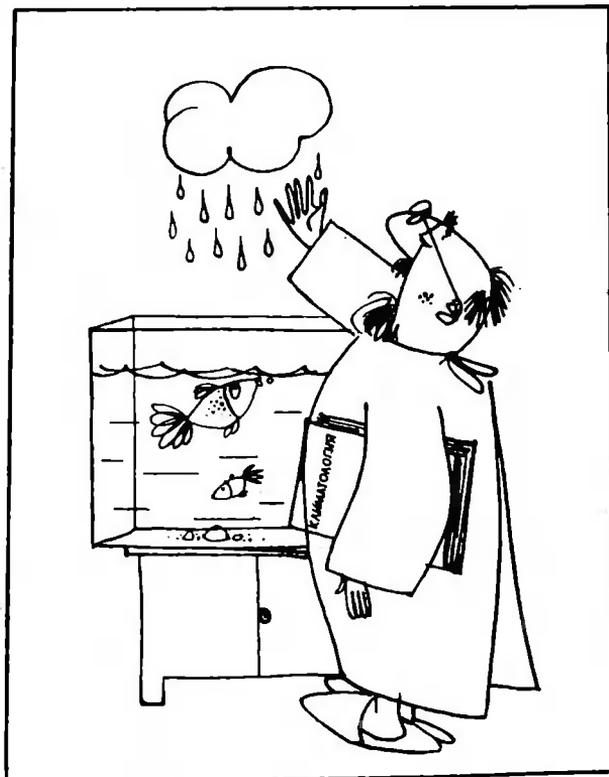
климатические катастрофы» (1986) в соавторстве с Г.С.Голицыным и Ю.А.Израэлем. Все эти книги переведены на иностранные языки.

В нашей стране научная карьера Будыко складывалась не всегда счастливо. В 1967 и 1972 гг. он дважды не «проходил» на общем собрании АН СССР в действительные члены. Академиком РАН он стал лишь в 1994 г. Известие о премии «Голубая планета» дошло до Михаила Ивановича одновременно с известием о том, что книга коллектива авторов «Антропогенные изменения климата», опубликованная «Гидрометеоиздатом» в 1987 г., не получила Государственную премию России⁷. В телефонных разговорах он больше сетовал на последнее обстоятельство, чем радовался первому. Однако не следует делать слишком категоричский вывод, что «нет пророка в своем отечестве». В нашей стране прекрасно знают и глубоко ценят работы Будыко, всемерно уважают его как всестороннего ученого и человека не только климатологи, но и представители других наук — географии, исторической геологии, эволюционной биологии.

© Г.С.Голицын
и Ю.А.Израэль,
академики РАН

⁷ См.: Будыко М.И. Антропогенное изменение климата // Природа. 1986. С.14—21.

ЗЕРКАЛО «ПРИРОДЫ»



Рисунки Ю.Аратовского. Из «Природы», 1971, №11.

Nota bene

Антропология. Организация науки

Раса: миф или реальность?

7—9 октября 1998 г. в Москве под эгидой Российского отделения Европейской антропологической ассоциации проходила I Международная конференция «Раса: миф или реальность?». Она была организована Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова, Научно-исследовательским институтом и Музеем антропологии им. Д. Н. Анучина, Институтом этнологии и антропологии им. Н. Н. Миклухи-Маклая РАН при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Института «Открытое общество». Наряду с российскими учеными в работе конференции приняли участие представители научных учреждений Белоруссии, Италии, Латвии, Монголии, Польши, Эстонии.

Тема конференции весьма актуальна в сегодняшнем мире. Дело в том, что некоторые зарубежные школы в связи с политической ситуацией встали на путь отрицания понятия «раса»; раса объявляется «пустой категорией», лишенной биологической основы, а достижения прежнего расоведения, включая исследования российской антропологической школы, перечеркиваются и порой приравниваются к расизму.

По оценке председателя оргкомитета конференции члена-корреспондента РАН Т. И. Алексеевой, основная задача отечественных антропо-

логов в области этнической антропологии состоит в обосновании принципиального различия между расой и этносом как категориями биологического и социального порядка. При этом разный их характер не предполагает отсутствия какой бы то ни было связи между ними. Если раса не определяет путей развития общества, то развитие общества и его история влияют на процессы расообразования.

Работа конференции проходила в нескольких секциях: «Расоведение и этническая антропология», «Онтогенетические исследования в этнической антропологии», «Ранние этапы культурной и антропологической дифференциации человечества». Для обсуждения проблем современного расоведения был организован круглый стол.

В принятой конференцией Резолюции, в частности, констатируется:

С биологической точки зрения видовое единство современного человечества несомненно.

Полиморфизм вида *Homo sapiens* не распространяется на жизненно важные видовые характеристики, и поэтому различные морфологические варианты как индивидуумов, так и популяций не разрушают целостность вида. Напротив, именно присутствующий человеку полиморфизм является крайне важной биологической предпосылкой устойчивого эволю-

ционного прогресса и выживания современного вида человека.

В антропологии традиционно крупные морфологические варианты, объединенные единством происхождения и территориально приуроченные, называются «расами». Реальность их существования подтверждается совокупностью данных, полученных на популяционном, организменном и молекулярном уровнях исследования человеческого организма. Доказано, что полиморфизм тканей и органов человека современного вида связан с его широким расселением по различным климато-географическим зонам; это создало объективные предпосылки для адаптации и еще большего усиления человеческого разнообразия при передаче генофонда во времени и пространстве. На соматологических, одонтологических, дерматоглифических, палеоантропологических материалах выявляется реальность таких различий.

Дифференциацию географических групп человечества подтверждают и данные по обмену веществ, содержанию холестерина и сахара в крови, составу белков и сывороток крови, уровню минерализации скелета и другим физиологическим параметрам. Все эти признаки демонстрируют генетически закрепленную в ряду поколений реакцию на конкретную среду обитания.

Современные методы молекулярной генетики (в том числе изучение структуры ДНК), используемые для исследования как современного человека, так и палеоантропологических находок, показывают, что расовые классификации, построенные с учетом хорошо обоснованных морфологических критериев, достаточно отчетливо отражают филогению отдель-

ных популяций и групп популяций.

В Резолюции отмечено, что негативистское отношение к расоведению, антропологическим исследованиям в области этногенеза, к самому термину «раса» особенно активно проявилось в последнее время. Не только на бытовательском уровне, но даже в научных собраниях происходит подмена или смешение таких понятий, как раса, этнос, язык, культура, что действительно подводит почву под разного рода инсинуации расистского толка.

Подавляющим большинством из присутствующих на конференции специалистов признан огромный методологический и теоретический вклад, который внесли в науку о человеке, и в частности в расоведение, такие классики антропологии, как В.В.Бунак, Г.Ф.Дебец, Н.Н.Чебоксаров, В.П.Алексеев и другие яркие представители русской, советской и российской науки. Одна из наиболее характерных черт их исследований — острая антирасистская направленность научных выводов и теоретических концепций. (К большому сожалению, с работами российских антропологов специалисты Западной Европы и США, как правило, не знакомы.) Однако именно расоведение со всей определенностью доказывает единство человечества как биологического вида, вскрывает научную несостоятельность утверждений о существовании «высших» и «низших» рас, устанавливает расовую гетерогенность больших этносов или полиэтничность одной расы.

Игнорирование расовых подразделений, призывы к прекращению или даже запрещению расоведческих исследований, абсурдные с научной точки зрения попыт-

ки вывести из антропологического словаря сам термин «раса» — все это, как подчеркивается в Резолюции, подрывает основы антропологии и обезоруживает ее в борьбе с проявлениями членоконенавистничества и ксенофобии, которые все еще действительно имеют место и в Восточном, и в Западном полушариях.

В России — стране с исключительно многообразным населением — антропология и популяризация антропологических, в том числе расоведческих, знаний приобретает особо важное значение.

© Г.В.Короткевич
Москва

Астрономия

Спектакль редкий, подготовимся заранее

11 августа 1999 г. — дата незаурядная: в этот день южнее канадского п-ова Новая Шотландия поверхности планеты коснется тень шириной 270 км. Ее отбросит Луна, которая в это время пройдет между Солнцем и Землей.

Эта тень, скользя со скоростью хорошего реактивного самолета (около 2400 км/ч), пробежит по волнам Атлантического океана и, оставляя на севере Ирландию, около половины одиннадцатого утра по Гринвичу слегка коснется крайнего юго-запада главного острова Британии. Перепрыгнув Ла-Манш, тень накроет северо-запад Франции, часть Бельгии, Голландии, Швейцарии, Венгрии, Греции и Болгарии, прежде чем уйти в Черное море. На сушу она вновь выйдет в Турции, у основания Малой Азии, «промелькнет» по Закавказью и

продолжит южнее Каспия, через Пакистан и Северную Индию, закончив свое земное путешествие где-то в Бенгальском заливе.

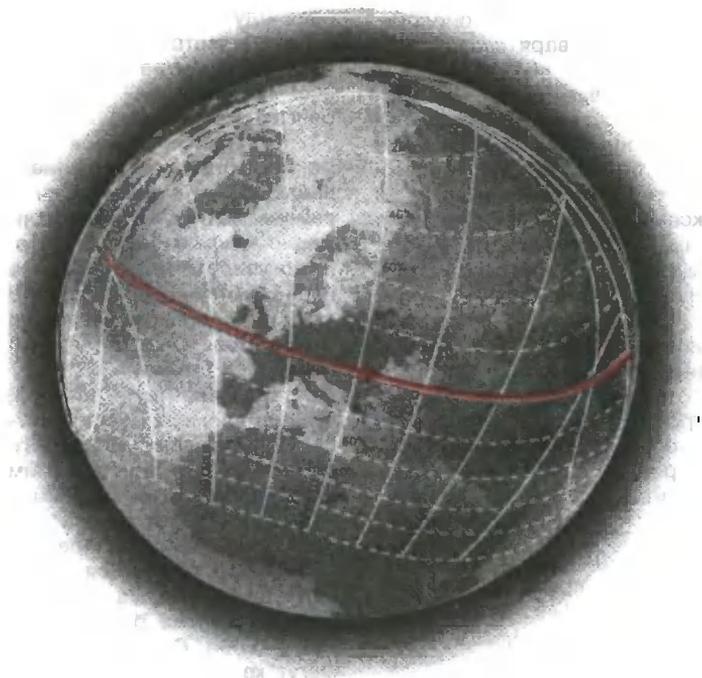
Полное солнечное затмение! Хотя такое явление и наблюдается в том или ином районе нашей планеты примерно каждые полтора года, шанс увидеть его, никуда не переезжая, очень невелик: в каждом отдельном месте оно отмечается раз в три с половиной столетия.

Человечеству повезло, что оно временами становится свидетелем подобного события, и обязаны мы этим случайному совпадению: хотя диаметр Солнца в 400 раз превышает поперечник Луны, зато и расстояние от него до Земли как раз во столько же раз больше, так что в небе Солнце и Луна могут казаться равновеликими и наш спутник в состоянии полностью перекрыть диск светила.

Однако так было не всегда. Луна затрачивает часть своей энергии на то, чтобы вызывать приливы в морях, океанах и даже в твердой коре Земли. Вследствие этого она медленно, но верно удаляется от планеты. Миллиарды лет назад Луна показалась бы земному наблюдателю (существуй он тогда, разумеется) куда большей, чем Солнце, а в отдаленном будущем, наоборот, спутник потеряет способность полностью покрывать диск светила.

Нам повезло не только со временем, но и с «местом проживания». Ведь в Солнечной системе насчитывается более полусотни «лун»; в том или ином числе они есть у каждой из планет, кроме Меркурия и Венеры¹. Но условия для полного затме-

¹ См.: Силкин Б.И. В мире множества лун. М., 1982.



Путь лунной тени по земной поверхности 11 августа 1999 г. Цветной полосой показаны районы полного (стопроцентного) солнечного затмения, кружком — затененный участок максимальной ширины.

ния Солнца, когда спутник казался бы в небе такого же размера, как светило, — случаются весьма и весьма нечасто.

Продолжительность этого «спектакля» в различных регионах Земли разная. Она зависит от того, в какой части своей орбиты будут находиться в тот момент наша планета и ее верный спутник. Обычно в каждой данной точке затмение длится не более 5 мин. Теоретически самое длительное, когда все три небесных тела встанут в благоприятную позицию, может занять 7 мин 31 с, но это бывает совсем уж редко. Ближайший подобный случай состоится 25

июня 2150 г. — затмение будет продолжаться 7 мин 14 с. В последний раз такое было в IX в.!

© Б.И.Силкин
Москва

Физика

Метастабильное π -состояние в сверхтекучем ^3He

Состояние сверхтекучего жидкого ^3He , заполняющего некоторый объем, описывается макроскопической волновой функцией. Эта функция характеризуется, в частности, фазой, которая, однако, сама по себе не проявляется ни в каких физических процессах. Если же имеются два объема сверхтекучей жидкости, соединенных тонкой трубкой или системой трубок, то наблюдаемой величиной становится разность фаз двух

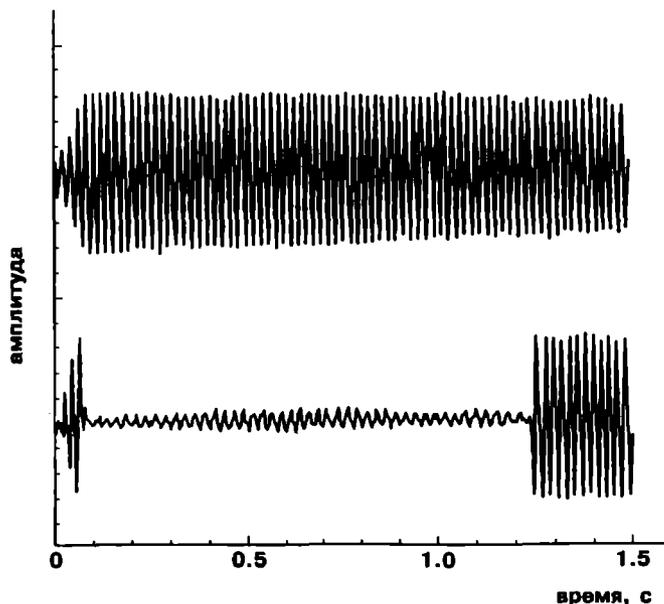
волновых функций, отвечающих состояниям гелия в каждом из слабосвязанных резервуаров, поскольку поток жидкости через трубки напрямую зависит именно от разности фаз.

В эксперименте такое квантовомеханическое движение жидкости (акустический эффект Джозефсона¹) наблюдала группа сотрудников Калифорнийского университета — С.Бюхаус, С.Переверзев и др. (S.Buckhaus, S.Pereverzev et al.; Беркли, США). Оно вызывало звуковые колебания при равномерном движении тонкой (50 нм) мембраны, которая была изготовлена из нитрида кремния и имела 4225 отверстий диаметром 100 нм.

Два слабосвязанных сверхпроводника (разделенных тонкой прослойкой диэлектрика или нормального металла), для которых эффект Джозефсона наблюдался более 30 лет назад, также характеризуются разностью фаз волновых функций. В высокотемпературных сверхпроводниках исследования механизма сверхпроводимости методом Джозефсоновской спектроскопии выявили особое значение таких условий протекания электрического тока, когда разность фаз $\Delta\varphi = \pi$. Джозефсоновские контакты, обеспечивающие в сверхпроводниках такое соотношение, получили название π -контактов (π -junction). Естественно, встал вопрос и о возможности осуществить условие $\Delta\varphi = \pi$ в сверхтекучем ^3He .

В новом эксперименте группа в Беркли заставила ту же мембрану совершать колебательные движения. Подавая на мембрану переменное электрическое напряже-

¹ Акустический эффект Джозефсона в сверхтекучем ^3He // Природа. 1997. № 12. С.73–74.



Колебания мембраны с отверстиями, разделяющей два объема ^3He . Верхняя кривая — при возбуждении ниже порогового уровня; нижняя — при возбуждении выше порогового.

ние с частотой, соответствующей ее механическому резонансу, возбуждали колебания, амплитуда которых медленно уменьшалась после отключения возбуждающей силы. Эти колебания, как было установлено, отвечали такому перетеканию сверхтекучей жидкости по трубкам, когда разность фаз волновых функций связанных сосудов была близка к нулю. Но при повышении амплитуды раскочки выше некоторой пороговой величины система в момент выключения возбудителя внезапно переходила в новое состояние: мембрана дрожала какое-то время с очень маленькой амплитудой, а затем вдруг вновь начинала колебаться с прежним, большим размахом.

В некоторых опытах дрожание с малой амплитудой продолжалось более 15 мин (!), но в конце концов система возвращалась в состояние с амплитудой, близкой к начальной, а затем колебания медленно затухали за счет процессов диссипации энергии.

Анализ динамики системы показал, что колебания с малой амплитудой отвечают движениям жидкости с разностью фаз $\Delta\varphi \approx \pi$, поэтому данное состояние системы было названо π -состоянием. Оно метастабильно, т.е. отвечает не полному, а локальному минимуму свободной энергии жидкости: случайное возмущение вызывает скачкообразный рост амплитуды, при котором свободная энергия уменьшается. Пока неясно, в каких именно степенях свободы запасается начальная кинетическая энергия мембраны, когда система пребывает в π -состоянии. Кроме того, есть теоретические соображения о том, что энергетический спектр возбуждений в системе слабосвязанных сверхте-

кучих объемов ^3He должен иметь и другие ветви.

Nature. 1998. V.392. № 6677. P.687—690 (Великобритания).

Химия

Ферментативный метод определения ртути

Известно, что соединения двухвалентной ртути, если они содержатся в воде, воздухе или пище, вызывают тяжелые неврологические нарушения у человека. Естественно поэтому, что аналитики ищут новые, более совершенные способы обнаружения таких соединений.

Высокочувствительный, селективный и простой экспресс-метод определения ртути (II) разработан на кафедре аналитической химии химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова.

Метод фактически представляет собой аналог известного в природе процесса — окисления ароматических аминов пероксидом водорода, которое катализируется ферментом пероксидазой.

В экспериментах мы использовали в качестве субстратов ароматические диамины (о-дианизидин, о-фенилендиамин и тетраметилбензидин), а фермент выделяли из корней хрена. Конечные продукты окисления этих диаминов имеют интенсивную окраску, поэтому по ее появлению можно было следить (визуально или измеряя оптическую плотность раствора) за ходом реакции, определять ее скорость.

В экспериментах выяснилось, что соединения

ртути (II) сильно замедляют быстротечную реакцию окисления, так как снижают каталитическую активность фермента. Катализ протекает еще медленнее, если в реакционную смесь добавить тиомочевину. Дело в том, что это серосодержащее соединение восстанавливает -S-S-связи в молекуле пероксидазы до тиольных (-SH) групп, в результате чего глобула фермента частично разворачивается и облегчается доступ ртути как к его карбоксильным (-COOH), так и вновь образовавшимся тиольным группам. Благодаря такому двойному действию и усиливается ингибирование пероксидазы ртутью (II), а скорость ферментативной реакции уменьшается.

Разработанный метод позволяет определять ртуть (II) на уровне концентрации 0,5 нг/л даже при огромном избытке (до 10^5 раз) в пробе солей кадмия (II), висмута (III) и свинца (II). Метод не нуждается в дорогостоящем оборудовании и высококвалифицированном персонале, пригоден для анализа воды, почвы, крови и других объектов. Требуемое для этого время — 5—10 мин.

В дальнейшем мы модифицировали метод — стали проводить ферментативные реакции не в растворе, а на поверхности различных твердых носителей (полистирола, разного типа бумага и пенополиуретана), содержащих иммобилизованную пероксидазу. В этом случае в пробе удается обнаружить ртуть при концентрации 1—100 нг/л, а за скоростью реакции можно следить визуально — просто отмечая время появления окраски секундомером. Чем выше содержание ртути в образце, тем медленнее протекает окисление и, следовательно, требуется больше времени для возникновения окрашенного про-

дукта реакции на поверхности носителя.

На основе такой модификации создано и промышленно выпускается тест-устройство, в котором пероксидаза иммобилизована на ячеек полистирольного планшета. Это устройство рекомендовано Министерством охраны окружающей среды РФ для контроля природных вод на содержание ртути (II).

© **С. В. Чернецкая**,
кандидат химических наук
Т. Н. Шеховцова,
доктор химических наук
И. Ф. Долманова,
кандидат химических наук
Москва

Экология. Медицина

Международная программа химической безопасности

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) разработала и проводит Международную программу химической безопасности, в осуществлении которой участвуют также Международная организация труда и Международная программа охраны среды обитания.

Ежегодно в мире производится всевозможных химических соединений на сумму около 1,5 млрд амер. долл., появляются и многие тысячи опытных препаратов, из которых около 1 тыс. в конце концов ложится на прилавок. Ныне список продаваемых во всем мире химических веществ насчитывает около 100 тыс. наименований, и далеко не все они безопасны для человека.

К настоящему времени в рамках программы определена степень безвредности нескольких тысяч химических веществ. В первую очередь

проверена токсикологическая безопасность пищевых добавок, а также загрязнителей и 220 пестицидов, попадающих в продукты питания. По результатам всесторонних анализов опубликовано свыше 120 документов, информирующих о возможной токсичности тех или иных веществ.

Созданы так называемые международные карточки химической безопасности, которые содержат сведения (на нескольких языках) о 1300 веществах, с которыми человек имеет дело.

Каждые несколько лет издается обновленное трехтомное «Руководство ВОЗ по качеству питьевой воды», в котором приведены ее микробиологические, биологические, химические и радиологические характеристики. Оценено действие 27 промышленных химических веществ, 36 пестицидов, 4 дезинфектантов и 23 побочных продуктов производства последних. Все данные предоставляются в распоряжение официальных лиц и государственных властей, исследователей, работающих в соответствующих областях науки, общественности, рабочих коллективов, руководителей торговых организаций, таможенных органов, полиции, пожарных, специалистов по промышленной гигиене и борьбе с чрезвычайными ситуациями, катастрофами и др.

Самой крупной из техногенных катастроф в истории, отмечает ВОЗ, был взрыв на химическом заводе в Бхопале (Индия), случившийся в 1984 г. Различной степени отравлению тогда подверглось более 200 тыс. людей. Накрывшее их облако содержало 40 т метилизоцианата. Оно воздействовало на окружающих в продолжение полутора часов, в результате чего 8 тыс. человек

погибли, а многие получили тяжелые хронические заболевания дыхательных органов и глаз.

Мощные химические выбросы в атмосферу происходят во время крупных пожаров на складах, заводах, в жилых зданиях. Ядовитые продукты сгорания воздействуют на здоровье миллионов. Появление новых синтетических материалов, основанных на полиуретане, поливинилхлориде и т.п., резко увеличило токсичность дыма при пожарах. Например, только горение поливинилхлорида приводит к образованию более 75 различных ядовитых продуктов.

Приходится соприкаться человеку и с опасными природными явлениями, в частности вулканическими извержениями, которые сопровождаются выбросом токсичных газов и пепла; другой яркий пример — выброс природного удушающего газа CO_2 с дна оз. Ниос в Камеруне в августе 1986 г., унесший более 1700 жизней¹.

Последствия различных неблагоприятных ситуаций, а также действие разных синтетических соединений и загрязнений можно будет уменьшить, а в ряде случаев полностью исключить при успешном выполнении Международной программы химической безопасности.

World Health Organization. Fact Sheet. № 87. Revised March 1998 (Швейцария).

¹ См.: Озеро-убийца в Камеруне // Природа. 1986. № 10. С.119; Трагедия в Камеруне // Природа. 1987. № 4. С.115; Камерунские озера грозят новой катастрофой // Природа. 1989. № 3. С.120.

Социология

Опасаясь безработицы? Займись наукой

Сотрудница Национального научного фонда США К.Ф.Шеттл (C.F.Shettle) опубликовала результаты предпринятого ею статистического исследования степени занятости в американской науке и технике.

Она установила, что уровень безработицы среди лиц со степенью доктора составляет в США лишь около 1.5% всех специалистов, а это примерно вчетверо ниже, чем общий уровень безработицы в американской науке и технике.

Такой показатель в основном остается неизменным начиная с 1973 г. Безработица среди научных сотрудников с более низкими званиями несколько выше, но все равно уступает средней по всем специальностям.

Из 27 тыс. человек, защитивших докторскую диссертацию по естественнонаучным и инженерным дисциплинам в 1995 г. (последний период, по которому имеются сведения), преимущественно исследовательской деятельности посвятили себя 67% инженеров и 54% физиков. Около трети докторов наук заняты преподавательской работой; среди инженеров этот показатель вдвое ниже — лишь 12%.

Chronicle of Higher Education. 29 August 1997; Science News. 1997. V.152. № 11. P.172 (США).

Метеорология

Южнополярная озоносфера в 1997 г.

Начавшееся в августе 1997 г. развитие озонной

дыры над Антарктидой ускорило с середины сентября: площадь поверхности, над которой дефицит озона достиг 30—35%, превысила 20 млн км². Такой уровень озона примерно совпадает с тем, что наблюдался южнополярными веснами в предыдущие шесть лет.

Среднемесячное содержание озона в атмосфере за август в высоких широтах Антарктиды было на 15—25% ниже, чем в период, предшествовавший возникновению дыры. В средних широтах Южного полушария (между 35 и 60°), согласно спутниковым данным, дефицит озона в августе был вторым по величине с начала 80-х годов. В сентябре сохранились примерно те же показатели.

Столь низкое содержание озона в этом регионе, вероятно, было связано со стратосферным переносом воздушных масс западными экваториальными ветрами, которые подвержены квазидвухлетним колебаниям, а также — с весьма интенсивным на этот раз явлением Эль-Ниньо—Южная осцилляция. Подобные процессы происходили также в 1985 и 1992—1993 гг.

Во второй декаде сентября дефицит озона, достигавший местами 50%, регулярно отмечался на южнополярных антарктических станциях и метеостанциях. Шары-зонды, запущенные во второй половине сентября на Южном полюсе, показали весьма значительное истощение озоносферы на высотах от 14 до 20 км. В течение нескольких суток озон в этих слоях атмосферы полностью отсутствовал.

World Climate News. 1998. № 12. P.10 (Швейцария).

Палеоантропология

Эта обезьяна передвигалась на двух ногах

До недавнего времени считалось, что вертикальное прямохождение среди млекопитающих — свойство, присущее только гоминидам — эволюционной семье близких родственников человека, прослеживаемой в глубины времени лишь на 6 млн лет. Правда, лет 100 назад в Центральной Италии стали находить костные останки ископаемых приматов (негоминид), вызвавшие сомнение в правильности подобного мнения. В 50-е годы некоторые антропологи предположили, что это существо, названное ореопитеком бамболийским (*Oreopithecus bambolii*), могло, судя по некоторым формам скелета, ходить в вертикальном положении. Но большинство специалистов отвергло это утверждение, ссылаясь на отсутствие убедительных анатомических данных.

Ныне антропологи М.Келер и С.Мойя-Сола (M.Köhler, S.Moya-Solà; Палеонтологический институт им.Крусавонты, Сабаделья, Испания) завершили свое двухлетнее исследование останков ореопитека, которые хранятся в Музее естественной истории в Базеле (Швейцария) и до сих пор не были описаны.

Это животное населяло (наряду со многими другими млекопитающими) ту область центральной части нынешнего Апеннинского п-ова, которая около 7—9 млн лет назад была островом посреди Средиземного моря. находка представлена фрагментами нижнего отдела позвоночника, тазовых костей и нижней конечности, включая стопу. В общем, их строение указывает, что перед нами нечто среднее между нечеловекообразной обезьяной и австралопитеком, относимым к ранним гоминидам.

По-видимому, ореопитеку был свойствен изгиб нижнего отдела позвоночника в переднем направлении — так называемый поясничный лордоз¹. Ореопитек обладал и вертикально расположенным коленным суставом, а это обычно считается важным признаком способности к прямохождению. С другой стороны, отдельные элементы таза у этой древней обезьяны весьма похожи на соответствующие структуры у австралопитека афарского, т.е. того вида гоми-

нид, к которому принадлежала и знаменитая Люси, обнаруженная при раскопках в Восточной Африке. Однако стопа ореопитека имеет форму, не встречавшуюся до сих пор ни у одного из приматов: ее большой палец отогнут примерно на 90° от остальных пальцев, которые, в отличие от пальцев стопы ныне существующих низших обезьян, имеют более прямую форму и укорочены. Несмотря на сходство с «треугольной» птичьей лапой, такое строение ноги ореопитека позволяло ему уверенно передвигаться по земле на двух ногах, хотя и несколько шаркающими короткими шажками.

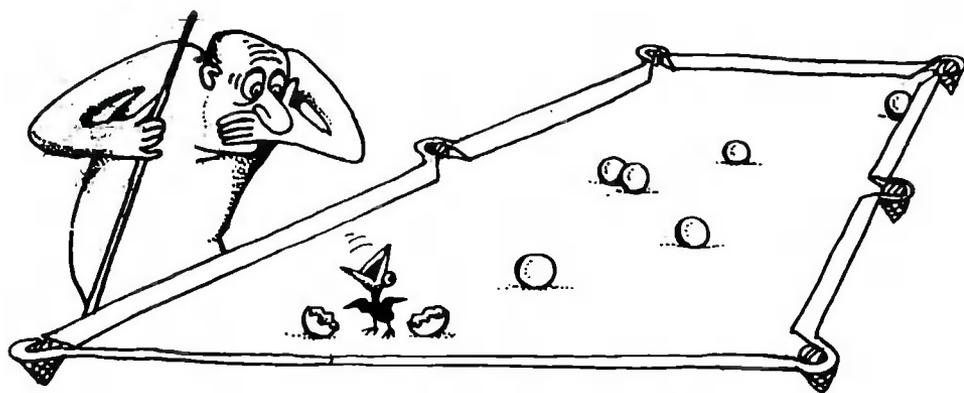
Жизнь на изолированном от материка острове, где, по всей видимости, не было хищников, а пища была в достатке, могла способствовать эволюции ореопитека вплоть до возникновения уникальной для негоминидов возможности ходить, хотя бы часть времени, на двух конечностях. Для древних обезьян, которые, как считалось, могли лишь карабкаться по деревьям, раскачиваться на ветвях, а по земле передвигаться на четырех ногах, это можно назвать гигантским скачком вперед.

Proceedings of the National Academy of Sciences. 1997. V.94. P.11747 (США).

¹ Такая форма позвоночника создает наиболее благоприятные условия для поддержания выпрямленного положения тела. Ранее было доказано присутствие поясничного лордоза у австралопитеков, но о более ранних формах сведения отсутствуют.

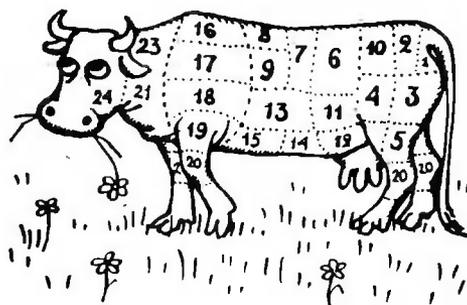


Сила систематики.



Достаточно безумная теория.

Рисунки С. Тюнина. Из «Природы», 1970, №8.



Живая природа и люди.

Рисунок С. Тюнина. Из «Природы», 1970, №5.



Спасительная мутация.

Рисовал Ф. Куриц. Из «Природы», 1970, №12.

Геологическое наследие Якутии

А. В. Лапо,

кандидат геолого-минералогических наук

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского
Санкт-Петербург

Небольшая, хорошо оформленная книга, в которой текст дан на русском и английском языках параллельно, напечатана в Финляндии. Она включает около 100 цветных фотографий геологических памятников Якутии, снабженных краткими, но весьма квалифицированными комментариями. Завершает книгу очерк, посвященный строению и истории геологического развития территории республики и иллюстрированный наглядными схемами.

Список приведенных в книге геологических памятников довольно разнообразен. Здесь описаны четыре кембрийских яруса, найденных на территории Якутии, удивительный плейстоценовый ледовый комплекс Ляховских о-вов с «мамонтовой» фауной, уникальные месторождения алмазов, ископаемого угля, золота, чароитов, цеолитов, битумов, Кемпендяйские соляные деформации, ряд тектонических структур, молодой вулканический конус Балаган-Тас и некоторые другие геологические объекты. Все они представляют большой интерес для ученых, причем не только для геологов, но также и для путешественников, любителей природы, туристов.

Большое разнообразие геологических памятников, высокие оценки их значения, лаконичные точные пояснения, доступные для широкого



ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) /
Под ред. Л.М.Парфенова и
В.Б.Спектора. Новосибирск: ИН-
ФОЛИО, 1997. 80 с.

круга читателей, забота о сохранении интересных объектов — все это свидетельствует о том, что авторы не только замечательные знатоки, но также хорошие популяризаторы и большие энтузиасты, которые закономерно гордятся достижениями якутской геологии и беспокоятся о будущем. В этой связи, кажется довольно странным полное отсутствие в книге сведений о том, находятся ли под охраной государства описываемые объекты. При этом в издании имеется некоторый привкус туристской рекламы, который, впрочем, вполне уравнивается сдержанностью и содержательностью текста, а также хорошо подобранными цветными фотографиями объектов.

Существенным и трудно объяснимым недостатком книги стало полное отсутствие библиографических ссылок на литературу по описываемому предмету. Это обстоятельство представляется тем более странным, что в выходных сведениях книга названа научно-информационным изданием. Тем самым любознательный читатель лишается возможности узнать что-либо дополнительно о заинтересовавших его объектах.

Несколько портит хорошее впечатление от книги также технология компьютерного набора — погрешности окончательного редактирования. Вместо общепринятого в геологии применительно к пластам термина «мощность» авторы почему-то употребляют «толщина». Попадаются в книге и некоторые другие неточности. Так, месторождение цеолитов Хонгуруу (с.57) в действительности было открыто не в 1978 г., а много раньше — в 1959-м. В 1978 г. якутские геологи лишь уточнили минералогию цеолитов и оформили заявку.

В обращении к читателю (с.2) авторы книги пишут: «...цель данного издания — обратить внимание на некоторые геологические памятники Республики Саха, раскрыть их уникальность и показать их необходимость бережного отношения к ним вне зависимости, находятся ли они вблизи населенных пунктов или в удаленных таежных и горных районах». С уверенностью можно сказать, что с поставленной задачей авторы справились успешно.

Книга «Геологические памятники Республики Саха (Якутия)» представляется весьма полезной, интересной и своевременной. Она выпущена вполне приличным тиражом (5000 экз.) и благодаря параллельному английскому тексту доступна мировому научному сообществу.

Рецензируемое издание достойно встанет в ряд с другими книгами, посвященными геологическим памятникам различных регионов России и изданными за последние полтора десятилетия, выгодно отличаясь от них качеством своего полиграфического исполнения и наличием английского текста. Напомним, кстати, что проблеме сохранения памятников природы и других

объектов геологического наследия был посвящен в недавние годы и ряд публикаций в «Природе». Очень хорошо, что поток таких материалов нарастает, но тем очевиднее становится неразработанность методологической базы изучения геологических памятников, или, выражаясь более современно, объектов геологического наследия.

На с.4 рецензируемой книги авторы цитируют определение геологических памятников, взятое из «Горной энциклопедии»: «Уникальные или типичные геологические объекты, имеющие научную, культурно-познавательную или эстетическую ценность и охраняемые государством».

На практике же это определение слабо используется (большинство описанных в книге объектов не охраняется государством и, таким образом, памятниками природы не является).

Впрочем, нуждается в уточнении и само определение. Все острее ощущается потребность в четких критериях для объектов геологического и, шире, природного наследия России. Это тем более актуально теперь, когда в 1996 г. в список объектов Всемирного наследия, составляемый под эгидой ЮНЕСКО, впервые включены девственные леса Коми, оз.Байкал и вулканы Камчатки.

Хочется думать, что это только начало.

НОВЫЕ КНИГИ

Астрономия

К.Птолемей. АЛЬМАГЕСТ, ИЛИ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ СОЧИНЕНИЕ В ТРИНАДЦАТИ КНИГАХ / Пер. с древнегреч. И.Н.Веселовского. Под ред. Г.Е.Куртика. М.: Наука. Физматлит, 1998. 672 с.

Настоящее издание представляет собой публикацию перевода с древнегреческого языка на русский знаменитого сочинения выдающегося астронома античности, математика и географа Клавдия Птолемея. Написанное во II в. н.э., оно сыграло особую роль в истории науки, в нем отражены все или почти все наиболее значительные достижения античной астрономии. На протяжении полутора тысяч лет, будучи переведено с греческого сначала на арабский, а затем на латинский языки,

оно считалось наиболее авторитетным источником астрономических знаний на средневековом арабском Востоке и в Европе вплоть до эпохи Возрождения.

Перевод «Альмагеста» на русский язык выполнен крупнейшим исследователем истории античной науки, знатоком древнегреческого и латинского языков И.Н.Веселовским (1892—1977). Основой для перевода послужило издание греческого текста под редакцией И.Гейберга. Стилистически и терминологически перевод Веселовского отличается от немецкого К.Манициуса и английского Дж.Тумера. Русский перевод максимально приближен к оригиналу.

Приложения и комментарии к изданию подготовлены Институтом истории естествознания и техники РАН.

Физика

ПАМЯТИ Г.А.АСКАРЬЯНА / Сост. Г.М.Батанов, Б.М.Болотовский, С.С.Григорян, И.А.Косский, И.В.Соколов. М.: Знак, 1998. 376 с.

*Куда прилечь? Погосты всюду
Есть или были, или будут.
Земля полна захоронений
Людей, признаний, рифм и мнений.*

Трудно определить жанр этой книги. Давно забыт конфликт «физиков» и «лириков». Другое время — другие герои. Гурген Ашотович Аскармян (1928—1997) — физик, его основные работы посвящены самофокусировке электромагнитных и звуковых волн, нелинейной оптике. Его яркие, иногда совершенно неожиданные идеи порождали горячие дискуссии среди физиков.

В книге собрана часть

его научных работ, примерно треть публикаций. Выбор был сделан с учетом мнения самого автора, который именно об этих работах писал, что они доставили ему больше всего и радости и горести, поэтому он предпочел их остальным.

Статьи приведены в том виде, в каком они впервые были опубликованы. В сборник включены также фрагменты воспоминаний Г.А.Аскарьяна о встречах с другими выдающимися физиками — В.И.Векслером, Е.К.Завойским, М.Л.Левинным, М.А.Леонтовичем, Д.В.Скобельцыным.

В последнем разделе приводятся некоторые записи из дневников автора, включая стихотворные.

Б.Понтекорво. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ: В 2 т. / Под общей ред. С.М.Биленького. М.: Наука. Физматлит, 1997. 416 с. (Классики науки)

В издание вошли работы выдающегося физика современности, академика Б.Понтекорво (1913—1993), а также воспоминания его друзей и коллег. Ученик великого Э.Ферми, сотрудник Ф.Жолио-Кюри, он стал почетным членом Итальянской академии. Бруно Понтекорво родился в Италии, работал во Франции, США, Канаде, Англии, а большую часть своей жизни провел в России. Он известен как автор фундаментальных идей об универсальном характере слабого взаимодействия, различии между электросными и мюонными нейтрино, об осцилляциях нейтрино. Он впервые предложил метод детектирования нейтрино.

В первом томе собраны наиболее интересные научные статьи Понтекорво. Основным критерием отбора стала их актуальность для современной физики. Во втором представлены работы

ученого по истории физики, научно-популярные работы, полная библиография его трудов. Специально для этого издания более 30 видных российских и зарубежных ученых, друзей Понтекорво, подготовили свои воспоминания о нем и о его роли в науке. Одно из них, принадлежащее перу С.С.Герштейна, опубликовано в «Природе» (1998, № 4). Впервые на русском языке публикуется автобиография Бруно Понтекорво.

Химия

В.С.Арутюнов, О.В.Крылов. ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ МЕТАНА. М.: Наука, 1998. 361 с.

Широкое применение природного газа в быту и промышленности стало отличительным признаком современной цивилизации. Природный газ — один из основных первичных энергоносителей и источников получения химического сырья — интересен с точки зрения его ресурсов, добычи, транспортировки и переработки. Большинство возникающих при этом проблем обусловлено свойствами метана — основного компонента природного газа. Являясь простейшим соединением углерода, метан обладает рядом уникальных свойств, существенно отличающих его даже от ближайших гомологов. Поэтому проблема утилизации природного газа — это прежде всего проблема использования метана. Однако масштабы химической переработки природного газа ограничены из-за сложного энерго- и капиталоемкого процесса предварительного превращения его в синтез-газ.

Цель книги — систематизировать и дать анализ имеющихся материалов по химичес-

ким процессам окислительной активации метана — наиболее перспективного пути его переработки. Это и побудило авторов изучить современное состояние вопроса.

Геология

В.И.Шликерман. ДОМЕЛОВАЯ МИНЕРАГИЯ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.

До недавнего времени во всех металлогенических обобщениях Северо-Восток Азии трактовался как образец развития позднемезозойско-кайнозойских складчатых систем так называемого дальневосточного типа. Традиционно считалось, что рудные богатства этой обширной территории связаны почти исключительно с позднемезозойскими и кайнозойскими тектоническими движениями, магматизмом и метаморфизмом. Однако новые открытия вносят в схемы ученых свои коррективы. Начиная с 1996 г. дает тонны золота месторождение Кубака, связанное с палеозойским вулканическим поясом.

Настоящая работа представляет собой обобщение практически всех аспектов домеловой металлогении региона, рассматриваемой в столь полной форме впервые. Автор дает описание типовых месторождений более 30 рудных комплексов, образующих 26 металлогенических зон, касаясь такой фундаментальной геологической проблемы, как преобразование литосферы в зоне перехода от континента к океану.

Ихтиология

В.К.Митенев. ПАРАЗИТЫ ПРЕСНОВОДНЫХ РЫБ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА. Мурманск: ПИНРО, 1997. 199 с.

До недавнего времени сведения по паразитам рыб

Кольского Севера были редким исключением. В 30-е годы проводились исследования паразитофауны семги в бассейне р.Нева, а 20 лет спустя — баренцевоморской семги, кумжи, гольца и речной камбалы. Позднее появились сведения о паразитах интродуцированной горбуши, а также о гельминтах некоторых видов рыб. С первой половины 70-х по 90-е годы лабораторной паразитологии рыб Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им.Н.М.Книповича (ПИНРО) выполнялись экспедиционные работы по исследованиям паразитофауны рыб в водоемах различных ландшафтных зон Кольского Севера.

Результаты исследований обобщены в данной монографии. Автор подготовил систематический обзор 244 видов паразитов, их эколого-географическую характеристику. В книге также обсуждается история формирования пресноводной фауны паразитов рыб в поздне- и послеледниковое время.

Почвоведение

В.И.Убугунова, Л.Л.Убугунов, В.М.Корсунов, П.Н.Балабко. АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ПОЧВЫ РЕЧНЫХ ДОЛИН БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1998. 250 с.

Аллювиальные почвы речных долин бассейна Селенги (Забайкалье и Монго-

лия) и ее притоков, а в целом и всего Центрально-Азиатского региона, — «белое пятно» в почвенно-генетической науке. В России и Монголии отсутствуют экологически безопасные технологии рационального использования этих почв в лугопастбищном хозяйстве, при освоении под пашню, при усиленном гидромелиоративном и агрохимическом воздействии. В то же время именно пойменные агроландшафты Селенги и ее притоков — потенциальные первоисточники сельскохозяйственного загрязнения вод Байкала.

В книге впервые обобщены результаты многолетних исследований авторов как на российской, так и на монгольской частях региона. Показаны закономерности формирования и пространственной дифференциации аллювиальных почв в долинах Селенги и ее притоков в зависимости от зонально-поясного расположения пойм, а также особенности структуры их строения, свойств, режимов и микробиологической активности. Дана агрохимическая характеристика основных типов почв и урвня их плодородия.

История науки

В.И.Вернадский: ДНЕВНИКИ. 1917—1921 / Под ред. К.М.Сытника, Б.В.Левшина. Киев: Наукова Думка, 1997. 325 с.

Ученый-энциклопедист, философ и общественный деятель Владимир Иванович

Вернадский (1863—1945) оставил потомкам дневник, который вел на протяжении всей сознательной жизни. В архивах Российской и Украинской академий наук хранятся десятки блокнотов, тетрадей, записных книжек с размышлениями ученого, зафиксированными в гостиницах и кабинетах, в поездах и на пароходе, во время геологических экспедиций и даже в тюрьме — в доме предварительного заключения Петроградской ЧК, где Вернадский провел двое суток в июле 1921 г. В конце XX в. эти записи воспринимаются как реликт, как памятник культуры.

В книгу вошла лишь часть дневников В.И.Вернадского, датированных октябрём 1917 г. — мартом 1921 г. Впервые публикуемые без купюр, они раскрывают полный драматизм жизненного пути ученого, факты наименее исследованного украинского периода его жизни и творчества. Читатель немало узнает о взаимосвязи Вернадского с украинским национально-демократическим движением, о строительстве украинской государственности и о роли украинской науки в ту пору. Полные, не усеченные цензурой или политической конъюнктурой, дневники раскрывают во многом нового, неизвестного Вернадского. Оригинальны и неожиданны авторские характеристики П.Н.Милюкова, М.С.Грушевского, А.Е.Крымского, П.П.Скоропадского и других видных политических деятелей, ученых.

Похоже, что через 76 лет наша история вернулась к пройденным рубежам и настало самое время внимательно читать дневники Вернадского.

Штрих к биографии Л.Д.Ландау

В журнале «Известия ЦК КПСС»¹ были опубликованы материалы уголовного дела по обвинению Л.Д.Ландау в антисоветской деятельности. В этой публикации содержатся «Протокол допроса Ландау Льва Давидовича», «Личные показания Ландау Л.Д.», «Справка» и другие документы, касающиеся его ареста в 1938 г.

Из «Протокола допроса» следует, что на «сближение с антисоветской группой физиков» Ландау толкали «недовольство и озлобленность, вызванная арестом его отца Д.Л.Ландау». В этом же «Протоколе допроса» со слов обвиняемого записаны сведения об его отце Давиде Львовиче Ландау: «До революции отец служил инженером в одной из нефтяных компаний в Баку. В 1930 году, когда я находился за границей, отец был аресто-

ван и вскоре осужден за вредительство в нефтяной промышленности к десяти годам концлагеря». Эти сведения об аресте отца используются дальше в деле как непреложный и не требующий доказательств факт.

Так, в «Справке» говорится: «ЛАНДАУ признался в том, что будучи озлобленным арестом своего отца Давида Львовича ЛАНДАУ — инженера, осужденного в 1930 году за вредительство в нефтяной промышленности на десять лет заключения в лагерях (впоследствии был освобожден), в отместку за отца примкнул к антисоветской группе, существовавшей в Харьковском физико-техническом институте».

Об аресте отца повторяется и в «Постановлении об освобождении», а также в очень краткой «Записке внутреннего содержания», не вошедшей в публикацию «Известий ЦК КПСС»: «Отец-инженер... обвинялся по

вред. процессу 30—31 гг., осужден, был освобожден»².

Следует, однако, особо отметить, что в «Личных показаниях Ландау Л.Д.», написанных собственноручно, нет ни единого слова об аресте Давида Львовича.

Факт контрреволюционной деятельности отца стал неотъемлемой частью биографии академика Ландау, «пятно» сохранилось до конца его жизни и сыграло немалую роль в настороженно недоверчивом отношении к нему со стороны властей.

Теперь документально подтверждено, что за Л.Д.Ландау велась непрерывная слежка как с помощью завербованных агентов из людей, с которыми он общался, так и посредством подслушивающей аппаратуры. 20 декабря 1957 г. (со

² Горелик Г.Е. «Моя антисоветская деятельность». Один год из жизни Л.Д.Ландау // Природа. 1991. № 11. С.93—104.

¹ Лев Ландау: год в тюрьме // Известия ЦК КПСС. 1991. № 3.



Лев Давидович Ландау, его сестра Софья Давидовна с супругом Сигизмундом Мироновичем Бродерзоном и Давид Львович Ландау. Примерно 1928 г. Фото из семейного архива Э.З.Рындиной. Публикуется впервые.

времени ареста и освобождения Ландау прошло почти двадцать лет) заведующему Отделом науки ЦК члену-корреспонденту АН СССР В.А.Кириллину по его запросу под грифом «Совершенно секретно» была направлена из КГБ СССР «Справка по материалам слежки за академиком Ландау» — опубликована в журнале «Исторический архив» (1993. № 3) и в других местах.

В самом начале, в исходных данных, наряду с датой рождения и местом работы, сообщается: «Ландау родился в семье инженера. Отец его в 1930 году арестовывался за вредительство, о чем Ландау скрывает».

Так что же скрывал Ландау?

Этот вопрос стал меня очень мучить. Давид Львович Ландау — отец моей матери, Софьи Давидовны Ландау и ее брата Льва Давидовича Ландау. Но я никогда не слышала об аресте моего деда за контрреволюционную деятельность. Действительно, был арест во время гражданской войны, о котором сохранилась такая семейная история. Город Баку

переходил из рук в руки, и при очередном захвате его красными пропали платиновые чаши из нефтяной компании, где дед был одним из ведущих инженеров. Любовь Вениаминовна (его жена и моя бабушка) не находила себе места, беспокоясь о нем. И тут ей сообщили, что Киров находится в Баку и должен уехать таким-то поездом в Питер. Будучи человеком необычайной энергии и решительности, Любовь Вениаминовна бросилась на вокзал, сумела пробиться к Кирову и рассказать о своей беде. Киров внимательно выслушал ее и тут же с вокзала позвонил по телефону. «Не беспокойтесь, чаши найдены», — успокоил он ее. «А мой муж?!» — в гнев воскликнула бабушка. «Он будет освобожден», — сказал Киров, и Давид Львович вскоре действительно вернулся домой. Эту историю рассказывали в семье многократно, но арест за вредительство и приговор к десяти годам лагерей не упоминались никогда.

Я решила провести небольшое расследование и отнесла в Ленинградское управление КГБ свой запрос.

Примерно через месяц пришел ответ.

«Уважаемая Элла Зигелевна! Проверкой, проведенной по архивным материалам УКГБ по Ленинграду и Ленинградской области и информационного центра ГУВД Леноблгорисполкомов, данных об аресте Вашего отца (ошибка, следует читать: деда. — Э.Р.) ЛАНДАУ Давида Львовича не обнаружено. Начальник подразделения А.Н.Пшеничный».

Так как я точно не знала, в каком году Давид Львович и Любовь Вениаминовна переехали из Баку в Ленинград (возможно, в 1930—1931 гг. они еще были в Баку), то я обратилась в КГБ города Баку с тем же запросом. Через некоторое время из Министерства национальной безопасности Азербайджанской республики пришел ответ:

«Уважаемая Элла Зигелевна! Ваш дед — Ландау Давид Львович, 1866 года рождения, проживавший в гор. Баку по адресу: улица Красноармейская, дом 17 и работавший инженером-технологом «Азнефти», был задержан в марте 1929 года Экономическим отделом



Лев Давидович с родителями Любовью Вениаминовной Гаркави-Ландау и Давидом Львовичем Ландау. Примерно 1935—1936 г. Фото из семейного архива Э.З.Рындиной. Публикуется впервые.

АзГПУ по обвинению в незаконном содержании золотых монет дореволюционной чеканки. Деньги были обнаружены при обыске в тайнике квартиры Вашего деда. Давид Львович себя виновным в нарушении валютных операций не признал, а найденное золото объяснил как свое сбережение с дореволюционного времени. Также сообщаем, что Коллегия АзГПУ от 5.09.29 г. решила выдать Ландау взамен обнаруженных золотых монет совзнаки по номинальному курсу того дня, а Вашего деда освободить.

Других данных о судьбе Ландау Д.Л. в архивном деле не имеется. Начальник отдела Ш.К.Сулейманов».

Так вот что «скрывал Л.Д.Ландау», вот оно «контрреволюционное» дело! Куда же делся приговор к десяти годам концлагеря? Ясно, что хранение собственных денег, хотя и «в золотых монетах дореволюционной чеканки», на такой приговор не тянет, и понятно, почему дед был «впоследствии освобожден». Это была часть общегосударственной кампании по изъятию золота и драгоцен-

ностей. Все это означает, что никакого ареста за вредительство не было.

Так почему же согласился подписать эти показания Л.Д.? Тут, наверное, и спрашивать незачем, и навряд ли это единственный «факт», сочиненный холуем-следователем. Теперь мы знаем, как выбивались нужные показания: сутками не давали спать и заставляли стоять на ногах, запугивали — это в лучшем случае. Ландау сопротивлялся, как мог. Вот краткий отчет из вышеупомянутой «Записки внутреннего назначения»: «7 часов стоял, замахивались, не били, показывали бумагу о переводе в Лефортово (Л.Д. было известно, что там жестоко пытали. — Э.Р.)... убеждали по 12 часов, 6 дней сидел в кабинете без разговоров, объявил голодовку». Так вынуждали следователи подписывать ими же сочиненные небылицы, заказанные их хозяевами сверху.

Но интересно, что кое-что Ландау все-таки пытался скрыть. Что же? Когда при аресте он заполнял анкету, в пункте 14 «Состав семьи (близкие родственники, их

имена, фамилии, адреса и род занятий)» он написал: «Мать — Любовь Вениаминовна Ландау, отец — Давид Львович Ландау, адрес — Ленинград, Рубинштейна 19, кв.41, сестра — Софья Давидовна — Ленинград, Загородный 21, кв.48, учащаяся». А правильный адрес его родителей — Рубинштейна 39, кв.41. Может быть, он забыл? Навряд ли. Ведь он уже много лет жил в Харькове и Москве и писал им, а значит, помнил адрес (запоминал он сразу и всегда). Дальше, «сестра — учащаяся», а Софья Давидовна (моя мать) уже много лет работала после окончания Технологического института. Так зачем? С учащейся какой спрос, ведь даже не самостоятельный человек. И адрес родителей чуть-чуть перепутал. Значит, может быть, не сразу доберутся...

Я вижу в этих небольших «описках» попытку отвести беду от своих близких. Честь ему и хвала за то, что в таких нечеловеческих условиях подумал об этом.

© Э.З.Рындина
Санкт-Петербург

Тематический указатель журнала «Природа» за 1998 год

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Вера и знание. Лем С.	12	30
Воспоминания и размышления о Бруно Понтекорво. Герштейн С.С.	4	89
ВОСПОМИНАНИЯ ОБ ИЛЬЕ МИХАЙЛОВИЧЕ ЛИФШИЦЕ	5	71
Жить на опережение. Каганов М.И.	5	72
Трижды эталон. Гредескул С.А.	5	77
Наше сотрудничество. Шёнберг Д.	5	82
Ильмех — Ученый, Учитель, Друг. Азбель М.Я.	5	85
Московская конференция памяти И.М.Лифшица. Хохлов А.Р.	5	88
Вступительная речь на Московской конференции. Каган Ю.М.	5	88
Ратгерсовская конференция памяти И.М.Лифшица. Гроссберг А.Ю.	5	91
Речь на мемориальном заседании Ратгерсовской конференции. Синай Я.Г.	5	94
Ракурсы. Пастур Л.А., Чернов А.А., Песчанский В.Г., Ипатова И.П., Кирпичников В.Я., Хмельницкий Д.Е.	5	95
Впереди событий и в стороне от признания. Ратнер В.А.	8	100
Добрый гений. (К 100-летию со дня рождения Е.А.Тимофеевой-Ресовской.) Иванов В.И.	10	88
Конец трехвековой традиции? Ландау, Капица и Сталин. (К 90-летию Л.Д.Ландау.) Фейнберг Е.Л.	8	19
	1	65

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1997 ГОДА

По физике — С.Чу, К.Коэн-Таннуджи, У.Д.Филлипс Джикаев Ю.К.	1	105
По химии — П.Бойер, Дж.Уокер, Й.-К.Скоу Виноградов А.Д., Болдырев А.А.	1	109

По физиологии и медицине — С.Прузинер

Кушниров В.В., Тер-Аванесян М.Д.	1	112
М.И. Будыко — лауреат премии "Голубая планета". Голицын Г.С., Израэль Ю.А.	12	99
Раса: миф или реальность? Короткевич Г.В.	12	103
Реконструкция и передислокация полярной станции "Амундсен-Скотт"	10	117
Реорганизация австралийской антарктической экспедиции*	10	117
Фундаментальная политика фундаментальной физика. ("Размышлениям" А.Д.Сахарова — 30 лет.) Горелик Г.Е.	5	3

ЛЕКТОРИЙ

Механизмы возбуждения, повреждения и гибели нейронов. Болдырев А.А.	7	10
Хроника великого открытия: идеи и лица. Ратнер В.А.	4	68
	11	18
Экология, обретающая статус науки. Гиляров А.М.	2	89
Экология в поисках универсальной парадигмы. Гиляров А.М.	3	73

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

А была ли планета?*	5	107
Базальтовые ахондриты с Весты*	8	105
Биологические эффекты солнечной активности. Бреус Т.К.	2	76
Взрывающиеся галактики. Силич С.А.	10	67
Вселенский "полос холода"	4	107
Гигант среди "кентавров"	2	102
Гравитационная линза из невидимого вещества. Сурдин В.Г.	11	86
Европейские космические программы*	10	104
Еще одна планета?*	2	102
Загадка небесных гамма-всплесков близка к решению. Трубников Б.А.	1	11
"Заместители" Солнца. Миронов А.В.	9	40
Запуск аппарата "Lunar-A" переносится*	11	101
Звездные комплексы и спиральные рукава. Ефремов Ю.Н., Засов А.В., Чернин А.Д.	3	8

* Опубликовано в разделе "Новости науки"

Звезды "омолаживаются", а Вселенная "старееет"	4	104
Источник жизни — красные астероиды?"	12	97
Колоссальный "хвост" Венеры"	11	102
"Комета-астероид"	3	111
Коммерческий полет к астероиду"	1	89
Конец трехвековой традиции"	8	19
Коричневый карлик с наименьшей светимостью"	4	107
Любительская астрономия готовится выйти в космос"	10	104
"Марсианский" карантин"	5	105
Минипланета нового класса"	10	105
Мир астероидов. Сурдин В.Г.	4	26
Недостающее звено звездной эволюции. Кацова М.М., Лившиц М.А.	10	54
Непростое кольцо Сатурна"	9	103
Новый путь к Марсу"	8	104
О планетах, и не только о них. Сурдин В.Г.	10	50
Обнаружен самый мощный космический гамма-всплеск. Розенталь И.Л., Трубников Б.А.	11	64
Осколки Весты — на Земле"	4	107
Открыт второй астероид с собственным спутником"	10	106
Открытие планеты подтверждается"	6	106
Открыты новые спутники Урана". Сурдин В.Г.	8	103
От Солнца "валит пар"	2	102
Очень большой телескоп начал "смотреть". Сурдин В.Г.	12	58
Планы полета к Европе"	11	101
Подо льдами юпитерианской Европы скрывается океан?"	1	90
Почему комета излучает в рентгеновской области?"	6	106
Пояс Койпера все "расширяется"	5	107
Предсказание и открытие гигантских вихрей в галактиках. Фридман А.М., Хоружий О.В.	8	7
Проблема солнечных нейтрино: от прошлого к будущему. Копылов А.В.	5	31
	6	27
Проект "Cluster" возобновляется"	11	100
Радиотелескоп в космосе"	6	104
Разнородное семейство Юпитера"	9	101
Расширение Вселенной не остановится никогда. Сурдин В.Г.	8	3
Реактивные струи у молодых звезд. Сурдин В.Г.	1	51
Рекордная разрешающая способность"	2	102
Рождение сверхгиганта". Сурдин В.Г.	6	105
Солнце "испытывает" земную магнитосферу"	4	105
Спектакль редкий, подготовимся заранее". Силкин Б.И.	12	104
"Сфинкс" на Марсе"	7	102
Третий хвост кометы Хейла-Боппа"	3	111
Трехступенчатая ракета — новый принцип использования"	11	100
Углеродная "луковица" в космосе?"	5	106
Фтор в космосе"	6	107
Химический состав и температура Солнца 3.5 млрд лет назад"	5	106
Черная дыра в галактике NGC 4258"	6	105

ПЛАНЕТОЛОГИЯ. МЕТЕОРИТИКА. ФИЗИКА И ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ. КОСМОХИМИЯ

Автомобилизация КНР повлияет на состав атмосферы"	11	104
Внутреннее строение Каллисто"	12	60
Вода в атмосферах планет-гигантов"	7	103
Все-таки нет жизни на Марсе"	12	59
Высокая влажность верхней атмосферы"	8	105
Газовый состав атмосферы над Центральной Африкой"	5	109
Естественные причины возникновения озонной дыры"	6	107
Еще один кометный пояс?"	4	108
Загадки Каллисто"	5	108
ЗАГАДОЧНЫЕ ТЕКТИТЫ.		
Ярошевский А.А.	4	15
Появление тектитов на Земле. Дмитриев Е.В.	4	17
Кислотность сухой атмосферы"	3	113
Космический вулкан "переехал"	11	103
Космическое происхождение асимметрии живого?"	1	29
Марс был гостеприимнее Земли"	11	103
Метилбромид не так уж вреден"	2	103
Моделирование марсианских условий"	7	103
Морская астроблема вблизи Антарктиды"	8	114
Наличие у Марса магнитного поля подтверждено учеными США". Жузгов Л.Н.	1	90
Новый проект изучения магнитосферы Земли"	11	104
Образование первых метеоритов"	10	106
Обсерватории Мауна-Лоа 40 лет"	11	105
Объект 1993 SC из пояса Койпера"	3	112
От физики Земли к сравнительной планетологии. Жарков В.Н.	12	86
Откуда все-таки вода?"	5	108

ПЕРВЫЕ ШАГИ НА МАРСЕ

Проект "Марс-Пасфайндер": успехи и уроки. Базилевский А.Т.	3	46
Исследование Марса продолжает космический аппарат "Марс-Пасфайндер". Кузьмин Р.О.	3	57
Подо льдами юпитерианской Европы скрывается океан?"	1	90
Ракеты "дырявят" озоносферу"	10	107
Ртуть загрязняет атмосферу Арктики"	10	107
Самолет — враг озоносферы"	1	91
Самолетные выхлопы и климат Земли"	7	104
Следы жизни внутри метеорита"	4	109
Суперболды. Немчинов И.В., Полова О.П.	7	20
Тайна зеленого свечения"	7	103
"Черное озеро" на Марсе"	9	102
Что нового на Юпитере?"	4	108

МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА

Десять историй о математиках и физиках (с авторскими резюме).
Смилга В.П.

10 3
11 3
12 67

"Жесткие" и "мягкие" математические модели. **Арнольд В.И.**

4 3

Постижение реальности. Выступление в Свободном университете Брюсселя. **Пригожин И.** Перевод с английского **Данилова Ю.А.**

6 3

Фракталы: от узоров к движению. **Нигматуллин Р.Р., Овчинников М.Н., Рябов Я.Е.**

2 61

ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА

Австралия вступает в космический век

11 102

Антропогенное воздействие на ближний космос. **Власов М.Н.**

11 88

Бурение в море: буй вместо платформы

4 115

В Англии начнут опреснять морскую воду

4 119

Глубины стали доступнее

6 118

200 ГэВ со сверхпроводящими резонаторами

5 109

Двумерные молекулы. **Садовников В.В.**

9 8

Десять историй о математиках и физиках (с авторскими резюме).
Смилга В.П.

10 3
11 3
12 67

Детекторы большого адронного коллайдера

8 106

Запуск аппарата "Lunar-A" переносится

11 101

Икосаздрические кластеры субоксида бора

8 108

К истокам Вселенной

5 105

Линзы для фокусировки нейтронов

9 104

Любительская астрономия готовится выйти в космос

10 104

Магнит-гигант

2 103

Мезоскопика и фундаментальные свойства пространства.

12 3

Андреев А.Ф.
Метастабильное π -состояние в сверхтекучем ^3He

12 105

Моделирование аварии ядерного реактора. **Павлов Д.В.**

7 99

Моделирование марсианских условий

7 103

Морская электроэнергетика возвращается

11 107

Мюонные коллайдеры на подходе

6 108

Новые возможности прогноза ураганов

7 117

Новый путь к Марсу

8 104

О физике полупроводников в современной России. **Копаев Ю.В., Сибальдин Н.Н., Тимофеев В.Б.**

8 91

Оптический фильтр на основе фотонного кристалла

8 107

Плутониевая проблема 7 110

Преобразование квантовой нити в квантовые точки 10 85

Проект "Cluster" возобновляется 11 100

Прямое наблюдение дробного заряда. **Павлов Д.В.** 7 105

Радиационная диагностика с использованием синхротронного излучения. **М.В.Кузин** 7 68

Разупрочнение металлических нанокристаллов с очень малым размером зерен 11 106

Распространение света в фоторефрактивных кристаллах: от кольца к гексагону. **Лушников П.М.** 11 29

"Самозахват" белого света 3 114

Сверхзвуковой выброс газа. **Голуб В.В.** 1 30

Сверхпроводимость молекулярного кислорода 11 106

Свидетельство существования эффекта нейтринных осцилляций. **Домогацкий Г.В.** 10 103

Сканирующий СКВИД-микроскоп для патологии 7 105

Сохранить природный ядерный реактор 3 113

Спутниковая навигация в действии 1 119

ТОРСИОННЫЕ МИФЫ. **Бялко А.В.** 9 3

Протокол измерений электросопротивления образцов меди МНТЦ "ВЕНТ" 9 6

Трехступенчатая ракета — новый принцип использования 11 100

Трубопроводы получают дешевый металл. **Василенко Ж.Г.** 2 104

Фотонные кристаллы. **Богомолов В.Н., Прокофьев А.В.** 8 27

Что делать с плутонием? 6 109

Электронная голография 6 108

Электронные "чернила" для электронной "бумаги" 11 99

ХИМИЯ

Анализатор гептила. **Ледина Л.Е.** 3 115

Достижимый перегрев нелетучих веществ. **Шлёнский О.Ф.** 4 80

Неорганический катализатор в роли биологического фермента 2 105

Новая профессия фуллеренов. **Василенко Ж.Г.** 5 110

Открыта новая фаза льда 9 105

Радуга новых аналитических реакций 6 109

Разделение оптических изомеров 2 103

Расхождения в названиях устранены 1 92

Трубопроводы получают дешевый металл. **Василенко Ж.Г.** 2 104

Ферментативный метод определения ртути. **Чернецкая С.В., Шеховцова Т.Н., Долманова И.Ф.** 12 106

Фталоцианины как анализатор диоксида азота в атмосфере 3 115

Фуллерен C_{50} 11 105

Фуллерены помогут получить этилен 3 116

БИОЛОГИЯ

А был ли кембрийский "популяционный взрыв"?	7	107
Арктические клоны полипов	8	110
Биологические эффекты солнечной активности. Бреус Т.К.	2	76
Взаимопомощь у обезьян	4	111
Дельфины используют губку	10	110
Для чего у рыб возникли челюсти? Несис К.Н.	1	92
Еще один способ размножения земноводных. Семенов Д.В.	4	110
Живучее биожульничество	4	109
Зачем свистит дельфин?	10	109
Звукоподражание как элемент поведения. Силаева О.Л.	9	16
Из личной жизни пауков-кругопрядов. Михайлов К.Г.	7	106
Истинно социальная креветка-щелкун. Несис К.Н.	6	78
Крабы-вселенцы в Черном море. Макаров Ю.Н., Мурина В.В.	10	39
Мартышки учатся с трудом	6	112
"Ненужного" самца убивают	9	108
Необычная паутиная сеть. Михайлов К.Г.	11	111
Несостоявшийся рекорд морозоустойчивости черепашек. Семенов Д.В.	10	108
"Нянька-обманщица"	10	110
Обезьяна-скультор	5	112
Пауки сеотиры ищут не выгоды, а покоя? Михайлов К.Г.	2	106
Помпейские черви нежатся в кипятке. Несис К.Н.	5	110
Почему глаза на длинных стебельках так сексапильны? Галимов Я.Р.	7	66
Почему снижается каннибализм среди животных?	11	108
Растения зовут на помощь перепончатокрылых хищников. Гиляров А.М.	10	109
Родительская забота у пресмыкающихся. Семенов Д.В.	8	111
Родословная собаки уходит в глубь времен	6	111
Секс и насилие среди гермафродитов. Несис К.Н.	8	108
Сексуальная агрессия тюленей	9	108
"Так нас природа сотворила..." Богданов Н.Н., Абрамова Т.Ф.	6	60
Чем пахнет... любовь?	4	112
Чернобыльский регистр России: оценка и прогноз. Цыб А.Ф., Иванов В.К., Чечин О.И.	3	3
Ящерицы и полное солнечное затмение. Семенов Д.В.	7	107
Ящерицы мимикрируют под... жуелиц	9	106
Ящерицы опыляют цветы	6	111
Ящерицы смотрят видео	4	112

БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ

Аптека индейца XVIII века	4	121
Африканских диких собак обворовывают гиены. Гиляров А.М.	6	112

Ватасения — кальмар-светлячок. Несис К.Н.	12	61
Высотная охота бульдоговых летучих мышей	11	108
Гигантская медуза-"фотозвезда" обретает имя. Виноградов Г.М.	4	40
Глубинная биосфера	2	106
Дальние коммуникации слонов	9	24
Декоративное дерево губит эндемичную флору	9	108
"Живое ископаемое" в 35 метров высотой. Виноградов Г.М.	5	104
Живой мешок с ресничками — зоологическая загадка. Несис К.Н.	10	97
И трава с травой "говорит"...	5	113
Интродукция лотосов на Кубани. Шехов А.Г.	6	37
Обезьяна "нашла" противоядие	7	108
Они цвели чуть ли не при динозаврах	8	112
Пауки в бамбуке. Михайлов К.Г.	3	117
Пауки-клептопаразиты. Михайлов К.Г.	8	111
Плотнее нет костей, чем у ремнезуба	1	94
Термиты травят муравьев нафталином. Несис К.Н.	9	107
Четвероногий "термометр"	5	112
Эксперимент продлится 250 лет	6	114

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Диметилсульфонпропионат в морских водорослях	1	92
Механизмы защиты мозга от окислительного стресса. Болдырев А.А.	3	26
Паутина и роса. Михайлов К.Г.	5	113
Роль гидротермальных экосистем в продуктивности океана. Виноградов М.Е., Виноградов Г.М.	12	21
Стратегии эволюции и кислород. Скулачев В.П.	12	11
Тайны и загадки "живого" света. Бровко Л.Ю., Угарова Н.Н.	2	16

ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ. БИОНИКА

Биоинженерный хлопок — победа над вредителем или поражение?	3	119
Василиски дают новые идеи инженерам	4	113
Геном человека — медицине. Иванов В.И.	12	78
Еще один способ борьбы с нематодами	7	108
Как белок p53 убивает клетки	3	118
Клонирование животных: теория и практика. Струнников В.А.	7	3
Межродовой гибрид галапагосских игуан. Семенов Д.В.	6	103
Молекулярная генетика о времени заселения Америки. Несис К.Н.	1	103

Наследственные дефекты и отбор на уровне гамет. **Митрофанов Ю.А.** 8 20
Угорь — союзник электронщика и эколога 11 113

**ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ.
МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ.
СОЦИОЛОГИЯ**

Биотерапия в онкологии. **Левина Е.С.** 10 75
Вакцина против менингита. **Филатова Т.Н.** 3 96
Виновики "птичьего" гриппа найдены 5 114
Война против цеце продолжается 10 110
"Демоническое пьянство" 1 95
День здоровья — День безопасного материнства 9 109
Долгожительство женщин — поведение или физиология? 2 107
Инсулин без инъекций. **Василенко Ж.Г.** 4 113
Какую профессию выбирает английская женщина? 1 96
Наступление на слоновость 10 111
Необычный опрос среди английских старшеклассников. **Семенов Д.В.** 11 112
Новое наступление кишечных микроорганизмов 1 95
Обеззараживание продуктов облучением 2 107
Опасаясь безработицы? Займись наукой 12 107
Палочка Коха вновь идет в наступление 8 113
Пищевая добавка для выведения из организма трансурановых радионуклидов 11 111
Полезны только свежие овощи, а не их заменители 5 113
Проблемы пересадки органов животных 3 119
Радиационная диагностика с использованием синхротронного излучения. **Кузин М.В.** 7 68
Разделение оптических изомеров 2 103
Старость как часть жизни 3 119
Судьба коренного австралийца 6 120
Талидомид — не мутаген? 1 94
Холера на Африканском Роге 7 109
Чем пахнет... любовь? 4 112
Языкам учись смолоду 7 109

**ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ. ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Автомобилизация КНР повлияет на состав атмосферы 11 104
Акация защищает опылителей от собственных "телохранителей". **Гиляров А.М.** 1 97
Антарктида: жизнь на краю жизни. **Булавицев В.И.** 4 30

Антропогенное воздействие на ближний космос. **Власов М.Н.** 11 88
Арктику загрязняет Великобритания 4 114
Атолл Мидуэй становится заказником 1 99
Водохранилища способствуют парниковому эффекту 6 115
Географо-экологический "портрет" Черного моря. **Фащук Д.Я.** 9 53
Геоэкологическая катастрофа в приморских городах Дагестана. **Свиточ А.А.** 5 16
Европа борется за чистоту воздуха 7 38
"Зеленая" дипломатия 7 38
Кампания по спасению медведей в Пакистане 1 98
Кислотность сухой атмосферы 3 113
Комплексная карта России. **Снытко В.А.** 9 117
Коралловым рифам угрожают гурмамы 5 60
Ла-Манш загрязняется радионуклидами 5 115
Меры спасения морских черепах 9 109
Метеорология "вредит" Китаю 8 90
Микроорганизмы на отработанных элементах реакторов и ржавление радиоактивных стержней 12 20
Мир заинтересован в спасении тигра. **Белкина Л.П.** 7 110
Моделирование аварии ядерного реактора. **Павлов Д.В.** 7 99
На месте ядерного полигона — заповедник 8 26
Необычный опрос среди английских старшеклассников. **Семенов Д.В.** 11 112
Норка в Британии стала вредителем 9 109
Озеро Энрихильо — новый биосферный резерват 5 60
Первое глубинное захоронение атомных отходов 11 114
Плутониевая проблема 7 110
Пожары сибирской тайги. **Ваганов Е.А., Фуряев В.В., Сухинин А.И.** 7 51
Последствия деятельности "Маяка" на Южном Урале 7 111
Почему в России исчезли дрофы? **Белик В.П.** 1 58
Превратить бомбовый уран в горючее для АЭС 2 24
Проблема связанного азота 6 115
Проблемы захоронения атомных отходов в Великобритании 7 112
Пыль Сахары "нарушает" американские законы 5 117
Ради сохранения носорогов 5 114
Растения зовут на помощь перепончатокрылых хищников. **Гиляров А.М.** 10 109
Реинтродукция бобра 1 96
Роль анаэробных бактерий в экосистемах Черного моря. **Иванов М.В., Пименов Н.В., Русанов И.И., Саввичев А.С., Леви А.Ю.** 6 97
Сексуальная агрессия тюленей 9 108
Скандинавскую тундру губят олени 6 116
Сложности с захоронением атомных отходов в США 10 111
"Собачья жизнь" 11 113
Состояние почв в Индии 11 115

Сохранить природный ядерный реактор*	3	113
Судьба ламантина*	1	97
Судьба хранилища в Селлафилде*	3	25
Тайваньские атомные отходы*	1	99
Трибутилолово губит дельфинов?*	1	98
Угольные пожары в КНР и глобальное потепление*	8	36
Уроки плотины Дуная*	7	112
Утечка трития из лабораторного хранилища*	2	108
Хлорорганика в сибирских реках*	2	108
Чем грозят индонезийские пожары*	4	114
Что делать с плутонием?*	6	109
Шпицберген: впечатления натуралиста. Калякин В.Н.	6	42

КРАСНАЯ КНИГА

Аристократы среди растений. Демина О.Н.	12	33
Дербник — "дамский сокол". Ивановский В.В.	1	53
Колпица. Миноранский В.А.	5	41
Пискулька на Южном Ямале. Калякин В.Н., Виноградов В.Г.	11	57
Флористические редкости в Приокско-Террасном заповеднике. Денисова Л.В., Никитина С.В.	4	45

КРАСНАЯ КНИГА ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

Красная горбатовская порода крупного рогатого скота. Столповский Ю.А., Уханов С.В.	7	45
---	---	----

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Аномальное гало. Раутиан С.Г.	8	37
Гигантский буревестник. Булавицев В.И.	3	105
Гюрзе не хватило мгновенья. Булавицев В.И.	1	63
Зяблик, зяблица, зябок. Булавицев В.И.	10	48
Как крабы-скрипачи отличают врага от своего. Несис К.Н.	9	69
Краснокрыл, или просто стенолаз. Булавицев В.И.	5	54
Маленький охотник. Соколова Н.С.	4	85
Индийский муссон на Памире. Каабак Л.В., Сочивко А.В.	5	55
Малиновка, зарянка, ольшанка. Булавицев В.И.	8	38

ОЧЕРКИ НАТУРАЛИСТА

С кем рыбачил великан Кутху. Ладыгина О.Н., Ладыгин А.В.	2	37
Черный ворон. Булавицев В.И.	12	36

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА. ПЕТРОЛОГИЯ

Аляска — "родственница" Урала?*	2	109
Бурение в море: буй вместо платформ*	4	115
В пустыне Калахари обнаружен след космической катастрофы*	6	117
Гигантский оползень на дне Черного моря. Казанцев Р.А., Кругляков В.В.	10	86
Декомпрессионное плавление под вулканическими дугами*	8	114
Запад США: новый взгляд на геологическую историю*	3	120
Историко-генетическая связь апатитов и фосфоритов. Соколов А.С., Фролов А.А.	2	26
Керн. Афанасьева М.С., Милетенко Н.В., Русаев А.А.	4	50
Международный проект бурения дна моря Росса*	6	116
Морская астроблема вблизи Антарктиды*	8	114
Нелинейная геодинамика и геология. Пушаровский Ю.М.	6	12
Новая модель земной мантии*	9	111
Откуда золото?*	3	120
Парадокс байкальской геодинамики. Уфимцев Г.Ф.	8	88
Подводный грязевой вулкан в Арктике*. Виноградов Г.М.	9	112
Посланцы мантийных магм. Белов С.В., Фролов А.А.	11	44
Программа научного бурения в Арктике. Богданов Н.А., Басов И.А.	2	6
Программа океанского бурения на рубеже столетий. Басов И.А.	5	28
Революция в геологии золота. Константинов М.М.	3	39
Серебряный гигант России. Константинов М.М.	9	45
Суперразлом, где плавятся недра*	2	109

ГЕОХИМИЯ. ГЕОФИЗИКА

Гавайям грозят оползень и цунами*	5	116
Загадочные явления на Ладожском озере. Ассиновская Б.А., Никонов А.А.	5	49
Землетрясения смещают полюса*	4	118
Земля "звонит"	11	115
Земная кора движется на "газовой смазке"	9	110
"Избирательное" воздействие урагана*	11	115
Нелинейность геодинамики: физическая интерпретация. Бялко А.В.	6	23
О свинце, палеоклимате и морских течениях*	8	118
От физики Земли к сравнительной планетологии. Жарков В.Н.	12	86
Подводные вулканы: чем древнее, тем выше*	4	118
Полярное сияние повторяет линию побережий*	11	114
Почему смещаются полюсы Земли?*	3	121
Разрушения при землетрясении опре-		

деляются не только его магнитудой*	5	115	В Арктике продолжается потепление*	4	117
Расплавленные карбонаты в глубинах Земли. Рябчиков И.Д., Расс И.Т.	8	67	Водный кризис в Китае*	9	100
Связь штормов с извержениями вулканов*	6	118	Воздушные "блины" опасны*	4	120
Следы жизни внутри метеорита*	4	108	Географо-экологический "портрет" Черного моря. Фашук Д.Я.	9	53
Спрединг "услышан"	1	99	Геоэкологическая катастрофа в приморских городах Дагестана. Свиточ А.А.	5	16
Торнадо не явятся неожиданно*	2	111	Гидрологам и гляциологам помогут космические лучи*	1	101
Уран как индикатор рудообразования, или f-радиография в геологии. Горячкин Н.И.	7	29	Гренландские ледники "худеют"	2	112
Химический состав и внутреннее строение Луны. Кусков О.Л.	1	19	Динамика роста Гренландского ледника*	11	116
Цунами у берегов Новой Гвинеи*. Гусяков В.К.	10	112	Дожди, дожди, дожди...*	11	116
			Исчезают ли плавучие льды Антарктики?*	8	116

СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ

Активность вулкана Суффриер*	8	116	Климат, кризисы, киотская конференция. Бялко А.В.	2	3
Ашхабадская катастрофа: известная и неизвестная. Никонов А.А.	10	11	Климатическая неустойчивость нарастает*. Бялко А.В.	1	88
В Лесото ждут "искусственного" землетрясения*	2	111	Климатологическая экспедиция в Арктике*	6	119
Вулкан Асо — убийца*	10	113	Комплексная карта России*. Снытко В.А.	9	117
Вулкан Лоихи — с борта подводного судна*	9	117	Криогенный имитатор природной среды*	2	112
Землетрясения в Северном Афганистане: развитие одной гипотезы. Никонов А.А.	6	19	Лавина не обрушится неожиданно*	10	116
Землетрясения охлаждают океан, кормят рыбу и рождают циклоны*. Левин Б.В.	2	100	Метеоспутники обманывали климатологов?*	1	102
Извержение не будет неожиданным*	7	116	М.И. Будыко — лауреат премии "Голубая планета". Голицын Г.С., Израэль Ю.А.	12	99
Извержение, которого не было*	10	114	Небывалая засуха в Папуа Новой Гвинеи*	10	114
Извержения вулкана Безымянный. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.	3	35	Нижний Амур. Махинов А.Н.	11	31
Механизм вулканических извержений. Слезин Ю.Б.	6	80	Новые возможности прогноза ураганов*	7	117
Мировые шедевры гибнут от землетрясений. Никонов А.А.	4	41	Обсерватории Мауна-Лоа 40 лет*	11	105
Может ли Южная Калифорния вздохнуть с облегчением?*	9	115	Озонная дыра появилась раньше, в другом месте и росла ввысь*	10	115
Новый подход к прогнозу землетрясений*	6	117	Особенности углеродного цикла в Арктическом бассейне. Маккавеев П.Н., Якушев Е.В.	3	17
Островные вулканы: сложное происхождение*	8	115	Потепление особенно сказывается ночью*	10	116
Попокатепетль разъярился*	9	116	Почему потепление отстает от прогноза?*	5	117
Разрушения при землетрясении определяются не только его магнитудой*	5	115	Пресная вода из атмосферного воздуха. Алексеев В.В., Березкин М.Ю.	6	90
Сейсмически "невидимый" сдвиг в Японском желобе*	1	100	Программа "FASTEX" и прогноз атлантических циклонов*	9	118
Сильные землетрясения в Центральной Азии*	4	119	Пыль Сахары "нарушает" американские законы*	5	117
Успешный сейсмический прогноз в КНР*	2	25	Реконструкция и передислокация полярной станции "Амундсен-Скотт"	10	117
Яванский вулкан лихорадит*	7	115	Реорганизация австралийской антарктической экспедиции*	10	117
Япония раскроет сейсмические данные*	7	115	Самое жаркое десятилетие*	1	101
			Снежно-ледовые ресурсы мира. Котляков В.М.	12	42
			Тибетский ледник о палеоклимате тропиков*	5	118
			Южнополярная озоносфера в 1997 г.*	12	107

ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ

В Антарктиде намечено рекордное бурение*	8	117
--	---	-----

ОКЕАНОЛОГИЯ

Брахиоподы силурийских гидротерм*. Виноградов Г.М.	3	117
---	---	-----

В Арктике продолжается потепление*	4	117
Генетически изолированные популяции в безграничном океане*. Несис К.Н.	6	113
Глубины стали доступнее*	6	118
Исчезают ли плавучие льды Антарктики?*	8	116
Как дышит океан. Маккавеев П.Н.	11	10
Климатическая неустойчивость нарастает*. Бялко А.В.	1	88
Кристаллогидраты метана в донных осадках Атлантики*	2	110
"МИР-1" и "МИР-2": нужны ли России достижения ее науки и техники?		
К 10-летию создания и эксплуатации. Сагалевиц А.М.	1	37
Новая модель раскрытия Курильской котловины*. Баранов Б.В., Дозорова К.А.	9	113
Особенности углеродного цикла в Арктическом бассейне. Маккавеев П.Н., Якушев Е.В.	3	17
Погребенные рифы и газогидраты*. Несис К.Н.	7	113
Подводный грязевой вулкан в Арктике*. Виноградов Г.М.	9	112
Подводный лес в Гренландском фьорде*	4	116
Поразительные одиссеи северных морских слонов*	11	109
Придонные "рои" планктонных амфипод*. Виноградов Г.М.	11	109

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Амазонские джунгли — устойчивая экосистема*	7	117
В пустыне Калахари обнаружен след космической катастрофы*	6	117
Виноват ли астероид?*	5	119
Второе рождение кимбереллы. Федонкин М.А.	1	3
Дискуссия о происхождении птиц продолжается*	9	119
Докембрийские предтечи "пионеров суши". Бурзин М.Б.	3	83
Донные осадки океана о ледниковых периодах*	5	118
Древнейший рис Северного Китая*. Березкин Ю.Е.	8	118
К истории оледенений Земли*	6	119
Как Черное озеро стало Черным морем. Несис К.Н.	3	107
Крупнее — не значит удачливее*	3	122
Кто же такой целурозавраус?*	10	118
Межледниковое потепление началось и закончилось внезапно*	7	18
Место кладок динозавров стало музеем*	2	114
Молекулярная генетика о времени заселения Америки*. Несис К.Н.	1	103
"Молекулярные часы" птиц*	5	118
Недостающее звено в родословном древе?*	4	121
Новые динозавры из Китая и происхождение птиц. Курочкин Е.Н.	7	63
Оперенный динозавр*	10	118
Планету подогрел выброс метана?*	2	113

Похолодание было долгим*	2	113
Предки первых позвоночных*	4	104
Птеридоспермы — растения с первыми настоящими семенами. Наугольных С.В.	10	21
Свидетельствует "вилочка" динозавра*	3	122
Строматолиты — живые буквы каменной летописи Земли. Орлеанский В.К., Раабен М.Е.	11	68

АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ.
ЭТНОГРАФИЯ

Аптека индейца XVIII века*	4	121
Гемоглобин динозавра*	7	118
Гены о происхождении индейцев*	8	113
"Городское планирование" в древности*	9	120
Динамика антропологических показателей рода <i>Нолто</i> в плейстоцене*	11	118
Древнейший из клеев*	10	120
Древние индейцы — строители курганов*	10	120
Естественная история древнего человечества. Зубов А.А.	1	76
Золотые лягушки индейцев*	10	119
Искусственному зубу — две тысячи лет*	3	110
Какая реальность сокрыта в мифах? Березкин Ю.Е.	2	48
Каргалы: вхождение в мир металлической цивилизации. Черных Е.Н.	8	49
Нейрохирургия каменного века*	1	104
"Новгородский" мастиф*. Сорокин А.Н.	2	114
Обычай вторичного погребения в зеркале археологии и этнографии. Толстая С.М.	7	92
Первая находка останков первобытного человека в Таджикистане*. Ранов В.А., Лаухин С.А., Зубов А.А.	7	101
Положение неандертальца в родословной человека*	12	66
Прародина человекообразных обезьян — Африка или Азия?*	11	117
Ранний палеолит Израиля. Лаухин С.А., Ранов В.А., Ронен А., Волгина В.А.	4	52
Раса: миф или реальность?*. Короткевич Г.В.	12	103
Свадебные антагонизмы. Першиц А.И., Смирнова Я.С.	5	61
Эволюция человека и его социальной структуры. Бутовская М.Л.	9	87
Эдиганская мумия. Худяков Ю.С.	10	33
Эта обезьяна передвигалась на двух ногах*	12	109

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

В глубинах океана. Шушкина Э.А.	8	40
"Горячие новости" с горячих подводных источников Атлантики. Габрук А.В.	2	72

Озеро Мухтель. Сапаев В.М., Махинов А.Н., Воронов Б.А.	7	39
Тигровый дом. По следам маршрутов В.К.Арсеньева. Антонов А.Л., Шестеркин В.П.	10	43

РЕЗОНАНС

Еще раз о рождении теоретической экологии: роль международных связей. Галл Я.М., Попов И.Ю.	10	99
---	----	----

РЕДАКЦИОННАЯ ПОЧТА

Штрих к биографии Л.Д.Ландау. Рындина Э.З.	12	114
Экология экологии рознь. Багоцкий С.В.	4	125

НОВЫЕ КНИГИ

1 117; 2 127; 3 125; 4 123; 5 124; 6 124; 7 122; 8 123; 9 124; 10 123; 11 122; 12 111		
---	--	--

РЕЦЕНЗИИ

Академик по натуральной истории. Сытин А.К.	11	119
В подарок энтомологу. Свиридов А.В.	9	121
Вселенная Артура Эддингтона. Сурдин В.Г.	3	123
Всем, кто изучает биоразнообразие. Танасийчук В.Н.	1	123
Геологическое наследие Якутии. Лапо А.В.	12	110
Еще раз про микологию. Великанов Л.Л.	8	122
Красная книга "позеленела". Миркин Б.М., Соломещ А.И.	4	122
О науке и о нас. Ефремов Ю.Н.	5	120
О России и Советском Союзе — с любовью и знанием дела. Полян П.М.	2	116
От эволюции биосферы к эволюции сознания. Гиляров А.М.	7	119
Степи: вчера, сегодня, завтра. Миркин Б.М.	10	122
У истоков общей теории относительности. Полищук Р.Ф.	6	122
Энциклопедический словарь дарвинизма и эволюционных теорий. Арнонова Е.А.	8	119

ЗЕРКАЛО ПРИРОДЫ

12 35, 57, 85, 101, 109		
-------------------------	--	--

КОРОТКО

1 52, 118; 2 15, 60; 4 25, 79, 88; 6 36, 79, 102; 7 28, 50, 65, 67, 118; 9 39, 44; 10 121; 11 67; 12 60		
---	--	--

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

"Арифметика" Л.Ф.Магницкого. Еремеева А.И.	11	124
Естественная философия в Славяно-греко-латинской академии. Еремеева А.И.	5	126
Навигацкая школа в Сухаревой башне. Еремеева А.И.	9	126
Напоминание о короткой жизни. Успенская Н.В.	6	126
М.П.Бронштейн о себе. Публикация Волкова В.А.	6	127
Наука и ее финансирование в дореволюционной России. Назаров В.И.	10	127
"Русский парижанин" Г.Н.Вырубов. Любина Г.И.	1	125
Сад у Кремлевской стены. Кулакова И.П.	7	124
"Стахановский" дрейф. Корякин В.С.	2	118
Харьковский снимок: в кадре четыре физика. Горелик Г.Е., Ранюк Ю.Н.	8	126

ВОЗВРАЩЕНИЕ

Владимир Козьмич Зворыкин. Борисов В.П.	7	75
Игорь Иванович Сикорский. Михеев В.Р.	9	71
Яков Давыдович Тамаркин. В Америке его звали Джей Ди. Ермолаева Н.С.	8	75

НЕКРОЛОГ

Памяти Алексея Леонтьевича Бызова	11	123
Памяти Владимира Евгеньевича Соколова	6	121

РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

1 122; 3 109; 4 126; 5 40, 48, 70, 125; 7 100; 10 32, 96		
--	--	--

В КОНЦЕ НОМЕРА

Букет из Красной книги. Виноградов Г.М., Виноградова Т.Н.	3	127
У физиков свои сказки. Александр Расторгуев	4	127

Авторский указатель журнала «Природа» за 1998 год

Абрамова Т.Ф. (см. Богданов Н.Н.)	6	60	Бутовская М.Л.	9	87	Гусяков В.К.	10	112
Азбель М.Я.	5	85	Бялко А.В.	1	88			
Александр Расторгуев	4	127		2	3			
Алексеев В.В. (см. Березкин М.Ю.)	6	90	Ваганов Е.А. (см. Фуряев В.В., Су- хинин А.И.)	7	51	Данилов Ю.А.	6	3
Андреев А.Ф.	12	3	Василенко Ж.Г.	2	104	Демина О.Н.	12	33
Антонов А.Л. (см. Шестеркин В.П.)	10	43		4	113	Денисова Л.В. (см. Никитина С.В.)	4	45
Арнольд В.И.	4	3	Великанов Л.Л.	5	110	Джикаев Ю.К.	1	105
Аронова Е.А.	8	119	Виноградов А.Д. (см. Болдырев А.А.)	1	109	Дмитриев Е.В.	4	17
Ассиновская Б.А. (см. Никонов А.А.)	5	49	Виноградов В.Г. (см. Калякин В.Н.)	11	57	Дозорова К.А. (см. Баранов Б.В.)	9	113
Афанасьева М.С. (см. Милетенко Н.В., Русаев А.А.)	4	50	Виноградов Г.М. (см. Виноградова Т.Н.)	3	127	Долманова И.Ф. (см. Чернецкая С.В., Шеховцова Т.Н.)	12	106
			Виноградов Г.М.	3	117	Домогацкий Г.В.	10	103
Багоцкий С.В.	4	125		4	40			
Базилевский А.Т.	3	46	Виноградов Г.М. (см.	5	104	Еремеева А.И.	5	126
Баранов Б.В. (см. Дозорова К.А.)	9	113	Виноградов М.Е. (см.	9	112		11	124
Басов И.А. (см. Богданов Н.А.)	2	6	Виноградов Г.М.)	11	109	Ермолаева Н.С.	8	75
Басов И.А.	5	28	Виноградова Т.Н.	12	21	Ефремов Ю.Н. (см. Засов А.В., Чер- нин А.Д.)	3	8
Белик В.П.	1	58	Виноградова Г.М.)	12	21	Ефремов Ю.Н.	5	120
Белов С.В. (см. Фролов А.А.)	11	44	Виноградов Г.М. (см.	3	127	Жарков В.Н.	12	86
Белоусов А.Б. (см. Белоусова М.Г.)	3	35	Виноградов М.Е. (см.	11	88	Жузгов Л.Н.	1	90
Белоусова М.Г. (см. Белоусов А.Б.)	3	35	Виноградов Г.М.)	12	21			
Белянова Л.П.	7	110	Виноградова Т.Н.	3	127	Засов А.В. (см. Ефремов Ю.Н., Чернин А.Д.)	3	8
Березкин М.Ю. (см. Алексеев В.В.)	6	90	Власов М.Н.	11	88	Зубов А.А. (см. Ранов В.А., Лау- хин С.А.)	7	101
Березкин Ю.Е.	2	48	Волгина В.А. (см. Лаужин С.А., Ранов В.А., Ронен А.)	4	52	Зубов А.А.	1	76
	8	118	Воронов В.А.	6	127			
Блох А.М.	6	3	Воронов Б.А. (см. Сапаев В.М., Ма- хинов А.Н.)	7	39	Иванов В.И.	10	88
Богданов Н.А. (см. Басов И.А.)	2	6		7	66		12	78
Богданов Н.Н. (см. Абрамова Т.Ф.)	6	60	Галимов Я.Р.	7	66	Иванов В.К. (см. Цыб А.Ф., Чечин О.И.)	3	3
Богомоллов В.Н. (см. Прокофьев А.В.)	8	27	Галл Я.М. (см. Попов И.Ю.)	10	99	Иванов М.В. (см. Пименов Н.В., Русанов И.И., Савви- чев А.С., Леин А.Ю.)	6	97
Болдырев А.А. (см. Виноградов А.Д.)	1	109	Габрук А.В.	2	72	Ивановский В.В.	1	53
Болдырев А.А.	3	26	Герштейн С.С.	4	89	Израэль Ю.А. (см. Голицын Г.С.)	12	99
	7	10	Гиляров А.М.	1	97	Ипатова И.П.	5	95
Борисов В.П.	7	75		2	89			
Бреус Т.К.	2	76	Голицын Г.С. (см. Израэль Ю.А.)	3	73			
Бровко Л.Ю. (см. Угарова Н.Н.)	2	16	Голуб В.В.	6	112	Каабак Л.В. (см. Сочивко А.В.)	5	55
Булавинцев В.И.	1	63	Горелик Г.Е.	7	119	Каган Ю.М.	5	88
	3	105	Горелик Г.Е. (см. Ранюк Ю.Н.)	10	109	Каганов М.И.	5	72
	4	30	Горячкин Н.И.	7	29	Казанцев Р.А. (см. Кругляков В.В.)	10	86
	5	54	Гредескул С.А.	5	77	Калякин В.Н.	6	42
	8	38	Гросберг А.Ю.	5	91	Калякин В.Н. (см. Виноградов В.Г.)	11	57
	10	48						
	12	36						
Бурзин М.Б.	3	83						

Синай Я.Г.	5	94	Тимофеев В.Б.		Хохлов А.Р.	5	88
Скулачев В.П.	12	11	(см. Копаяев Ю.В., Си-		Худяков Ю.С.	10	33
Слезин Ю.Б.	6	80	бельдин Н.Н.)	8			
Смилга В.П.	10	3	Толстая С.М.	7			
	11	3	Трубников Б.А.	1	Цыб А.Ф.		
	12	67	Трубников Б.А.	11	(см. Иванов В.К.,		
Смирнова Я.С.			(см. Розенталь И.Л.)	64	Чечин О.И.)	3	3
(см. Першиц А.И.)	5	61					
Снытко В.А.	9	117	Угарова Н.Н.		Чернецкая С.В.		
Соколов А.С.			(см. Бровко Л.Ю.)	2	(см. Шеховцова Т.Н.,		
(см. Фролов А.А.)	2	26	Успенская Н.В.	6	Долманова И.Ф.)	12	106
Соколова Н.С.	4	85	Уфимцев Г.Ф.	8	Чернин А.Д.		
Соломещ А.И.			Уханов С.В.		(см. Ефремов Ю.Н.,		
(см. Миркин Б.М.)	4	122	(см. Столповский		Засов А.В.)	3	8
Сорокин А.Н.	2	114	Ю.А.)	7	Чернов А.А.	5	95
Сочивко А.В.				45	Черных Е.Н.	8	49
(см. Каабак Л.В.)	5	55	Фашук Д.Я.	9	Чечин О.И.		
Столповский Ю.А.			Федонкин М.А.	1	(см. Цыб А.Ф., Ива-		
(см. Уханов С.В.)	7	45	Фейнберг Е.Л.	1	нов В.К.)	3	3
Струнников В.А.	7	3	Филатова Т.Н.	3			
Сурдин В.Г.	1	51	Фридман А.М.				
	3	123	(см. Хоружий О.В.)	8			
	4	26		7	Шёнберг Д.	5	82
	6	105	Фролов А.А.	9	(см. Антонов А.Л.)	10	43
	8	3	(см. Белов С.В.)	11	Шехов А.Г.	6	37
	8	103	Фролов А.А.		Шеховцова Т.Н.		
	10	50	(см. Соколов А.С.)	2	(см. Чернецкая С.В.,		
	11	86	Фуряев В.В.		Долманова И.Ф.)	12	106
	12	58	(см. Ваганов Е.А., Су-	7	Шлёнский О.Ф.	4	80
Сухинин А.И.			хинин А.И.)	51	Шушкина Э.А.	8	40
(см. Ваганов Е.А., Фу-	7	51					
ряев В.В.)	11	119	Хмельницкий Д.Е.	5	Якушев Е.В.		
Сытин А.К.			Хоружий О.В.	9	(см. Маккавеев П.Н.)	3	17
			(см. Фридман А.М.)	7	Ярошевский А.А.	4	15
Танасийчук В.Н.	1	123		25			
Тер-Аванесян М.Д.							
(см. Кушников В.В.)	1	112					

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
Л.А.ПАРШИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Компьютерный набор
Е.Е.ЖУКОВА

Перевод
П.А.ХОМЯКОВ

Корректоры
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Л.М.ФЕДОРОВА

В художественном оформлении
номера принимали участие
М.В.ИВАНОВСКИЙ
Ю.А.ВИНЕЦКИЙ

Издательство «Наука» РАН
Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 19.11.98
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Заказ 4676

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

ПРИРОДА

1⁹⁹

Период	Ряд	Группы элементов													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0			
1	1	H 1 ?													He 2
2	2	Li 3	Be 4	B 5 100 ГПа 24 К	C 6	N 7	O 8 115 ГПа 0.6 К	F 9							Ne 10
3	3	Na 11	Mg 12	Al 13 1.16 К	Si 14 >10 ГПа 6.5 К	P 15 >10 ГПа 4-11 К	S 16 >10 ГПа 9-17 К	Cl 17							Ar 18
4	4	K 19	Ca 20 >50 ГПа 1-5 К	Sc 21 17 ГПа -0.1 К	Ti 22 0.2-0.5 К	V 23 5.4 К	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28				
4	5	Cu 29	Zn 30 0.8 К	Ga 31 1.09 К	Ge 32 >10 ГПа 5.3 К	As 33 >14 ГПа 0.9 К	Se 34 >14 ГПа 5 К	Br 35 90 ГПа 1.5 К							Kr 36
5	6	Rb 37 ?	Sr 38 >35 ГПа 2-7 К	Y 39 >4.7 ГПа 0.06-8 К	Zr 40 0.4-0.6 К	Nb 41 9.25 К	Mo 42	Tc 43 7.79 К	Ru 44 0.47 К	Rh 45 0.002 К					Pd 46
5	7	Ag 47	Cd 48 0.54 К	In 49 9.39 К	Sn 50 3.8 К	Sb 51 >8 ГПа 3 К	Te 52 >4 ГПа 2-8 К	I 53 >55 ГПа 1.7 К							Kg 54 >100 ГПа 8 К
6	8	Cs 55 12 ГПа 1.5 К	Ba 56 >37 ГПа 0.06-5 К	La* 57 4.8 К	Hf 72 0.13 К	Ta 73 4.4 К	W 74	Re 75 1.7 К	Os 76 0.71 К	Ir 77 -1 К					Pt 78
6	9	Au 79	Hg 80 4.15 К	Tl 81 2.83 К	Pb 82 7.18 К	Bi 83 >3 ГПа 6.5-8.5 К	Po 84	At 85							Rn 86
7	10	Fr 87	Ra 88	Ac** 89	Ku 104										

* Лантаниды

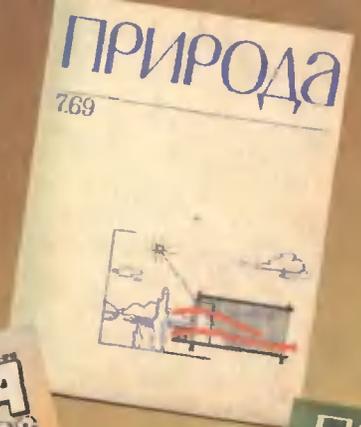
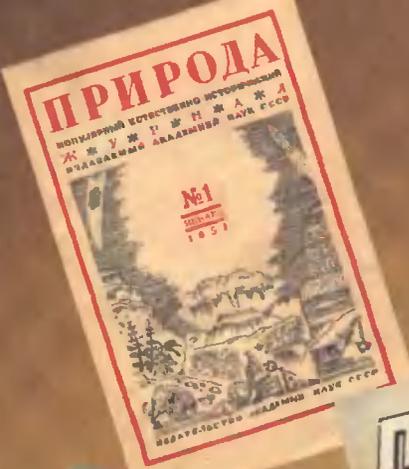
** Актиниды

58 Ce >2 ГПа <2 К	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd
65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu >4.5 ГПа 0.02-1 К

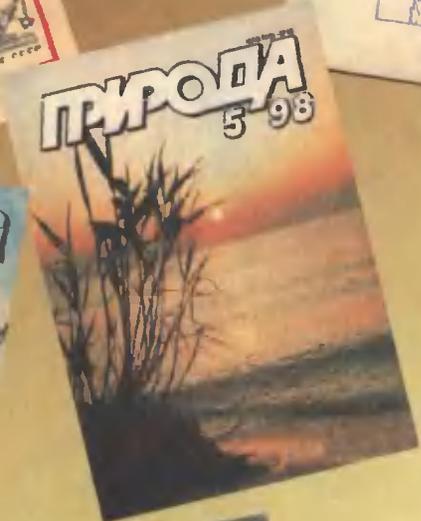
90 Th 1.4 К	91 Pa 2 К	92 U -1.5 К	93 Np	94 Pu	95 Am 0.6 К	96 Cm
97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Коллективу российских и зарубежных ученых удалось обнаружить сверхпроводящий переход у серы. Не являясь даже металлом при нормальных условиях и оставаясь диэлектриком при охлаждении до единиц К, сера все же приобретает металлические, а затем и сверхпроводящие свойства при повышении давления до мегабарных значений. В работе рассмотрены основы метода получения сверхвысоких давлений в камере с алмазными наковальнями и дано описание метода регистрации сверхпроводимости образцов малых размеров. Приведены результаты других исследовательских групп, занимающихся изучением сверхпроводящих свойств серы под давлением.

Стружкин В. В., Хемли Р. Дж., Го-кванг Мао, Тимофеев Ю. А.
СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ СЕРЫ



Индекс 70707



ISSN 0032 - 874X. Природа. 1998. №12. 1-128