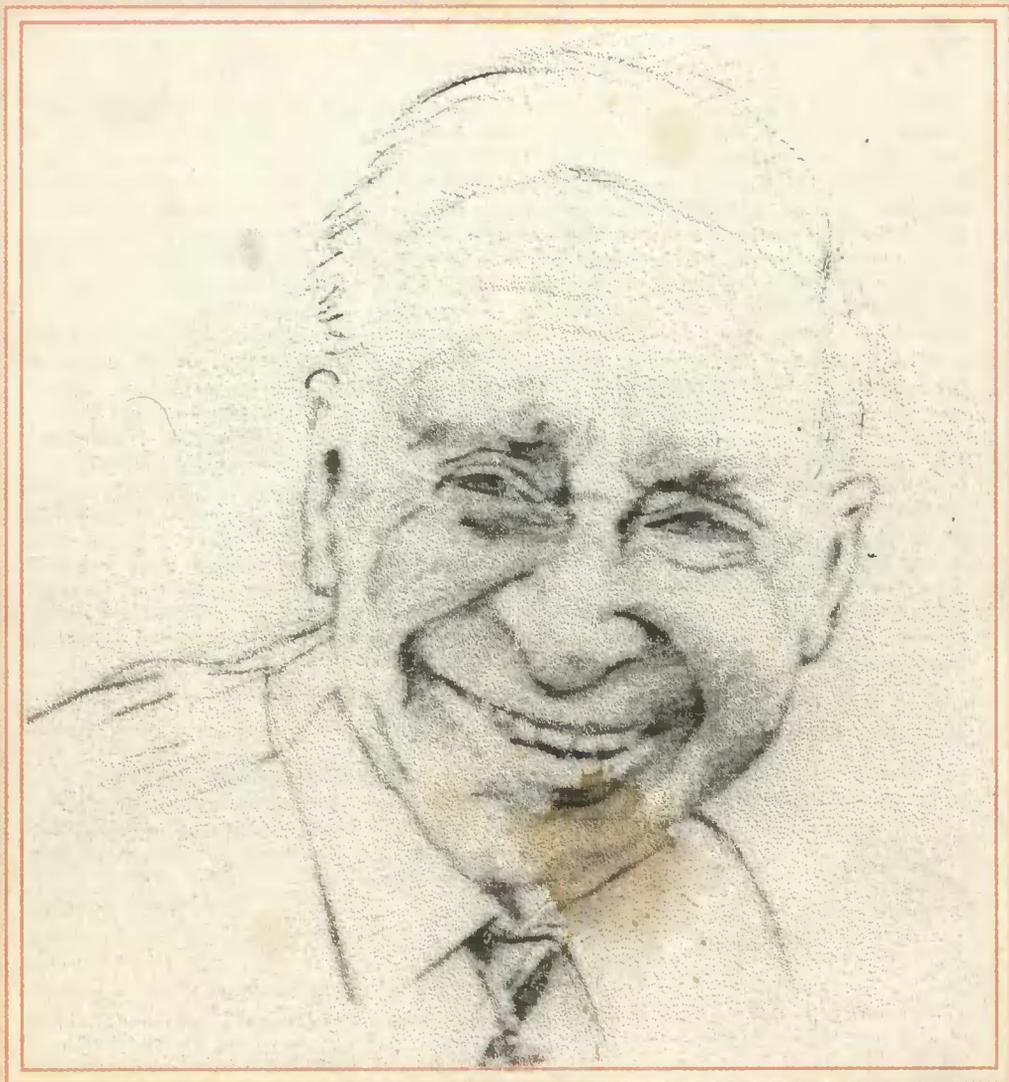


# ПРИРОДА

12 94



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Портрет В.А.Энгельгардта. Рисунок С.Г.Тулкеса. 1964 г.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Этот многоликий Энгельгардт. См. в номере: "Со знаменем несказанных очертаний, как с факелом, пройди..." К 100-летию со дня рождения В.А.Энгельгардта.

Рисунки С.Г.Тулкеса



## В НОМЕРЕ

### 3 Далькаров О. Д., Воронин А. Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИМАТЕРИИ — РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Исследования атомных процессов с участием античастиц, в том числе синтеза антиматерии, требуют интенсивных антипротонных пучков как можно более низких энергий. Для решения задач антипротонной физики в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) было построено уникальное ускорительно-накопительное кольцо LEAR, на котором в последние годы получено много интересных результатов.

### 12 Дорощев Е. А., Доценко В. С. СПИНОВЫЕ СТЕКЛА: НОВАЯ ТЕРМО- ДИНАМИКА

В системах магнитных атомов со случайным взаимодействием (спиновых стеклах) имеется иерархическая структура энергетических состояний. Это приводит к непрерывной последовательности особых фазовых переходов при понижении температуры и специфическому термодинамическому поведению.

### 24 «...СО ЗНАЕМ НЕСКАЗАННЫХ ОЧЕРТАНИЙ, КАК С ФАКЕЛОМ, ПРОЙ- ТИ» К 100-летию со дня рождения В. А. Эн- гельгардта

Крупнейший биохимик-экспериментатор, обладающий необыкновенной научной интуицией и огромным организаторским талантом, широко интересующийся теоретическими и философскими проблемами биологии, человек необычайного обаяния и благородства — таким помнят Владимира Александровича все, кому довелось с ним тесно общаться.

Киселев П. Л. ФЕНОМЕН ЭНГЕЛЬ-  
ГАРДТА [25]

Энгельгардт В. А. ЖИЗНЬ И НАУ-  
КА [26]

Энгельгардт В. А. ИЕРАРХИИ И ВЗАИ-  
МОДЕЙСТВИЕ В БИОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ [36]

Венкстерн Т. В. СПУСТЯ 10 ЛЕТ...  
[44]

Твердохлебов Е. Н. НАШ «ДЕД» [50]

Сухарева Б. С. ПОДАРОК СУДЬ-  
БЫ [53]

Тулькес С. Г. НЕСКОЛЬКО ШТРИХОВ  
К ПОРТРЕТУ [56]

СОВРЕМЕННОСТИ ОБ ЭНГЕЛЬГАРД-  
ТЕ [62]

Кафиани-Эристави К. А. ТЕОРИЯ АК-  
ТОРА-КАТАЛИЗАТОРА ПО-ПРЕЖНЕ-  
НЕМУ АКТУАЛЬНА [66]

### 71 Зубрева М. Ю. ЗДОРОВЬЕ ВАЛДАЯ

Гибельным может стать для чистейшего Валдайского озера избыточное поступление биогенных элементов с коммунальными и сельскохозяйственными стоками.

## КРАСНАЯ КНИГА

### 81 Сигида С. И. ЖУКИ КРАСОТЕЛЫ

### 83 Силкин Б. И. КОМЕТА УПАЛА. ПЕРВЫЕ ВПЕЧАТЛЕ- НИЯ С МЕСТ НАБЛЮДЕНИЙ

### 94 Несис К. Н. КЕМБРИЙСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ ШЛА БЫСТРЕЕ, ЧЕМ ДУМАЛИ

### 97 Колпаков В. В. КАК ОБРАЗОВАЛИСЬ «ГИГАНТСКИЕ ЛЕДЯНЫЕ ЖИЛЫ»

Залежи так называемого повторно-жильного льда в Якутии формируются в особых условиях из тонких пластинчатых сезонных порций, а сохраняются благодаря козырьку, защищающему лед от прогреваения сверху.

### 103 Сорокина К. Л. ГРОЗОВЫЕ ТУЧИ НАД РОССИЙСКОЙ НАУКОЙ

### 109 НОВОСТИ НАУКИ (11, 23, 49, 90, 96)

## РЕЦЕНЗИИ

### 116 Миркин Б. М., Наумова Л. Г. ТРАГИЧЕСКИЕ «СЕКУНДЫ» В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

ОБЪЯВЛЕНИЯ (118)

### 119 ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНА- ЛА «ПРИРОДА» 1994 ГОДА

### 126 АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «ПРИРОДА» 1994 ГОДА

IN THIS ISSUE

**3** Dalkarov O. D., Voronin A. Yu.  
RESEARCH OF ANTIMATTER: REALITY  
AND PERSPECTIVES

Research of atomic processes with the participation of antiparticles, including synthesis of antimatter, needs intensive beams of low energy antiprotons, like, those which are available at the unique storage ring LEAR built in the European Laboratory for Particle Physics (CERN, Geneva). Lately many interesting results were obtained on this facility.

**12** Dorofeev Ye. A., Dotzenko V. S.  
SPIN GLASSES: NEW THERMODYNAMICS

Systems of magnetic atoms with random interactions (spin glasses) have hierarchy structure of energy states. They demonstrate a continuous chain of special phase transitions at low temperatures. It results in specific thermodynamic behaviour of these systems.

**24** 100th ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN V. A. ENGELGARDT

All who had a pleasure of close communications with Vladimir Alexandrovich Engelgardt remember him as a person of unusual charm and nobleness, as a outstanding biochemist-experimentalist with profound scientific intuition and huge organization talent. He was deeply interested in theoretical and philosophical problems of biology.

Kiselev L. L. THE ENGELGARDT'S PHENOMENON (25)

Engelgardt V. A. LIFE AND SCIENCE (26)

Engelgardt V. A. HIERARCHIES AND INTERACTIONS IN BIOLOGICAL SYSTEMS (36)

Venkstern T. V. TEN YEARS LATER... (44)

Tverdokhlebov Ye. N. OUR "GRAND-PA" (50)

Sukhareva B. S. A GIFT OF FORTUNE (53)

Tulkes S. G. A FEW ADDITIONAL TOUCHES TO THE PORTRAIT (56)

CONTEMPORARIES TELL ABOUT ENGELGARDT (62)

Kafiani-Eristavi K. A. THE ACTOR-CATALYST THEORY IS STILL ACTUAL (66)

**71** Zubreva M. Yu.  
HEALTH OF THE LAKE VALDAI

Extra quantities of biogenic elements together with municipal and agriculture drainages may turn disastrous for the extremely clean lake Valdai.

RED BOOK

**81** Sigida S. I.  
CALOSOMA BEETLES

**83** Silkin B. I.  
THE COMET HIT THE JUPITER. FIRST IMPRESSIONS FROM OBSERVATION POINTS

**94** Nesis K. N.  
CAMBRIAN REVOLUTION WENT FASTER, THAN WE THOUGHT BEFORE

**97** Kolpakov V. V.  
THE ORIGIN OF GIANT ICE VEINS  
Deposits of reformed ice wedges in Yakutia are formed in special conditions from thin seasonal layers. Due to the upper peak, they remain well preserved from downward heating.

**103** Sorokina K. L.  
STORM CLOUDS OVER RUSSIAN SCIENCE

**109** SCIENCE NEWS (11, 23, 49, 90, 96)

BOOK REVIEWS

**116** Mirkin B. M., Naumova L. G.  
TRAGIC "SECONDS" IN THE HISTORY OF THE EARTH

ANNOUNCEMENTS (118)

**119** PRIRODA—1994. ANNUAL CONTENTS

# Исследование антиматерии — реальность и перспективы

О. Д. Далькаров, А. Ю. Воронин



Олег Дмитриевич Далькаров, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева РАН. Занимается физикой антипротонных взаимодействий, ядерными реакциями при низких и средних энергиях, теорией составных систем с сильным взаимодействием.



Алексей Юрьевич Воронин, младший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — взаимодействие вещества и антивещества при сверхнизких температурах, теория малочастичных систем с кулоновским взаимодействием.

**О**ДНИМ из наиболее интересных результатов релятивистской квантовой теории является предсказание существования античастиц. Оно было сделано П. Дираком в 1931 г. за несколько лет до экспериментального обнаружения первой античастицы — антиэлектрона, или, иначе, позитрона ( $e^+$ ). Спустя почти четверть века была открыта античастица с массой протона и отрицательным электрическим зарядом — антипротон ( $\bar{p}$ ).

Взаимодействие античастиц, существующих в космических лучах или рождающихся в современных ускорителях, с «обычной» материей представляет принципиальный интерес для понимания фундаментальных физических законов. Особая роль в изучении взаимодействия частица — античастица отводится взаимодействию нуклонов (протонов и нейтронов), образующих атомные ядра, с антинуклонами (соответственно антипротонами и антинейтронами). Встреча этих элементарных частиц заканчивается практически мгновенной (за время порядка  $10^{-23}$  с) аннигиляцией, в процессе которой пара нуклон — антинуклон превращается в мезоны (с наибольшей вероятностью рождаются  $\pi$ -мезоны). Ядерные процессы взаимодействия и аннигиляции нуклонов и антинуклонов обусловлены так называемым сильным взаимодействием и происходят на расстояниях порядка  $10^{-13}$  см (таков, например, размер ядра атома гелия).

Другим видом взаимодействия, в котором могут участвовать антипротоны, является электромагнитное взаимодействие. Характерная его особенность — дальность действия. Это взаимодействие ответственно за образование атомов и молекул; характерный размер простейшего атома — атома водорода — по порядку величины составляет  $10^{-8}$  см. Благодаря электромагнитному взаимодействию протон и антипротон могут образовать экзотический атом, в котором роль электрона выполняет антипротон.

Такие  $p$ -атомы впервые наблюдались в 1970 г. Их время жизни определяется тем, как быстро антипротон и протон сблизятся на расстояние порядка  $10^{-13}$  см, где происходит аннигиляция. Поскольку радиус  $p$ -атома существенно больше радиуса ядерных сил<sup>1</sup>, то вероятность сближения частиц до «ядерных» расстояний оказывается малой, а время жизни атома — большим в ядерном масштабе времен.

До недавнего времени теоретические и экспериментальные оценки<sup>2</sup> указывали на то, что среднее время жизни таких экзотических атомов составляет по порядку величины  $10^{-12}$  с. Эти оценки справедливы для большинства сред, в которых проводились эксперименты с антипротонами, за исключением гелия, где было обнаружено аномально большое время жизни антипротонов — так называемое явление задержанной аннигиляции, о котором пойдет речь в этой статье. Необходимо отметить, что в настоящее время механизм взаимодействия антипротонов с веществом еще мало изучен (за исключением простейших случаев взаимодействия с водородом). Ряд существенно новых явлений (в том числе явление задержанной аннигиляции) был обнаружен в последние несколько лет. Это связано, в первую очередь, с созданием и запуском в конце 1983 г. накопительного кольца антипротонов низких энергий LEAR (от английского Low Energy Antiproton Ring) в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) близ Женевы<sup>3</sup>.

## LEAR — УНИКАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК МЕДЛЕННЫХ АНТИПРОТОНОВ

Комплекс LEAR представляет собой ускорительно-накопительное кольцо, в которое впрыскиваются специальным образом «охлажденные» антипротоны, родившиеся в результате столкновений протонов с энергией 30 млрд. электронвольт с ядерной мишенью в протонном ускорителе ЦЕРНа.

Предварительное «охлаждение», т. е. гашение перпендикулярной к направлению пучка составляющей скорости антипротонов, осуществляется в специальной накопительной системе (ACOL). Применяемое для этих целей так называемое «стохастическое» охлаждение было предложено и впервые реализовано в ЦЕРНе<sup>4</sup>. Суть этого метода состоит в использовании сверхскоростной электроники, «следящей» за движением антипротона в накопительном кольце и непрерывно корректирующей величины и направления электрических и магнитных полей, обеспечивающих охлаждение. В кольце LEAR антипротоны накапливаются и замедляются до энергий в несколько миллионов электронвольт, а затем выводятся из кольца в виде почти монохроматического пучка, интенсивность которого —  $10^6$  антипротонов в секунду. Для сравнения: интенсивность лучших антипротонных пучков в США (Брукхейвенская национальная лаборатория) или в Японии (КЕК) при той же энергии составляет не более  $10^3$  антипротонов в секунду при существенно худшей монохроматичности.

Программа экспериментальных исследований на LEAR охватывает широкий круг фундаментальных проблем современной физики элементарных частиц и ядерной физики. К ним относятся в первую очередь исследования взаимодействия нуклонов и антинуклонов, в результате которого происходит образование тяжелых мезонов (так называемое вблизороговое рождение мезонов). Спектроскопия таких мезонных состояний позволяет получить максимально подробную информацию о деталях взаимодействия нуклон—антинуклон, особый интерес представляет изучение так называемых квазиядерных резонансов в системах нуклон—антинуклон. Основным физическим результатом, полученным в настоящее время<sup>5</sup> на LEAR, является экспериментальное подтверждение теоретически предсказанного сильного притяжения между нуклонами и антинуклонами на расстояниях порядка  $10^{-13}$  см. К числу других физических проблем, исследуемых в рамках программы LEAR, относится изучение физики взаимодействия антинуклонов с ядерным веще-

<sup>1</sup> Радиус наименьшей атомной орбиты  $p$ -атома приблизительно в 60 раз больше радиуса ядерных сил, это отношение еще больше для возбужденных состояний атома, радиус которых в примерно  $n^2$  раз больше радиуса наименьшей орбиты, где  $n$  — главное квантовое число, характеризующее возбужденное состояние.

<sup>2</sup> Desai B. R. // Phys. Rev. 1960. V. 119. P. 1385; Leon H. A. // Bethe Phys. Rev. 1962. V. 127. P. 636; Далькаров О. Д., Кербинов В. О., Маркушин В. Е. // Ядерная физика. 1977. Т. 25. С. 853.

<sup>3</sup> Идея создания накопительного кольца медленных антипротонов впервые была высказана и обоснована Г. И. Будкером (ИЯФ, Новосибирск) в 1962 г.

<sup>4</sup> За теоретическую разработку и создание системы «стохастического» охлаждения С. ван дер Meer (Швейцария) был удостоен Нобелевской премии. См.: Михайлов А. С. Лауреаты Нобелевской премии 1984 г. По физике — К. Руббин и С. ван дер Meer // Природа. 1985. № 1. С. 94—96.

<sup>5</sup> Шалиро И. С. // Успехи физ. наук. 1978. Т. 125. С. 577; Phys. Rep. 1978. V. 35. P. 129.

ством, исследование фундаментальных симметрий элементарных частиц, наконец, исследование атомных процессов с участием античастиц. Следует отметить, что экспериментальное изучение взаимодействия материи и антиматерии на атомном уровне, в том числе синтез антивещества, о котором пойдет речь в нашей статье, требует интенсивных антипротонных пучков с еще более низкими по сравнению с достигнутыми на LEAR энергиями (для того, чтобы интенсивность взаимодействия антипротонов с веществом была максимальной, необходимо, чтобы энергия антипротонов была порядка энергии электронов в атомах, т. е. порядка десятка электронвольт). Программа создания высокоинтенсивных антипротонных пучков особо низких энергий, получившая название ULEAP (Ultra Low Energy Antiproton Physics), реализуется в настоящее время в ЦЕРНе.

### ЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНО БОЛЬШОГО ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АНТИПРОТОНОВ В ГЕЛИИ

**Экспериментальные наблюдения.** В 1992 г. на установке LEAR в ЦЕРНе было начато исследование необычного поведения антипротонов в газообразном и жидком гелии<sup>6</sup>. Уникальность наблюдаемого явления состоит в том, что время жизни части антипротонов (т. е. время от момента попадания антипротона в гелий до момента его аннигиляции) составляет несколько микросекунд ( $10^{-6}$  с), что в миллион раз больше, чем обычно ожидаемое время жизни антипротонов в аналогичных средах. Этот эффект получил название задержанной аннигиляции. На возможность подобного явления было указано в теоретических работах Г. Кондо<sup>7</sup> и Дж. Рассела<sup>8</sup>, а первые экспериментальные наблюдения были сделаны в 1991 г. на установке КЕК в Японии. Впоследствии основные эксперименты были перенесены на накопительное кольцо низкоэнергетических антипротонов LEAR, с его уникальными возможностями для изучения взаимодействия антипротонов с веществом.

Целью первой серии экспериментов по исследованию задержанной аннигиляции, выполненной на LEAR, было измерение времени жизни антипротонов в гелии при различных давлениях и температурах, а также выяснение влияния различных примесей. Специально сконструированные детекторы

фиксируют момент попадания антипротона в гелиевую мишень и момент появления продуктов аннигиляции, с тем чтобы учесть только события, следующие за остановкой антипротона в гелии, и отбросить все «неинтересные» фоновые события. Были установлены следующие основные факты, которые, по-видимому, и являются наиболее характерными чертами явления задержанной аннигиляции: аномально большим временем жизни порядка  $10^{-6}$  с обладают около 3 % всех антипротонов, остановившихся в гелии, а остальные 97 % антипротонов аннигилируют за короткое время порядка  $10^{-12}$  с, характерное и для других сред; задержка аннигиляции происходит только в гелии, в других средах она не наблюдалась (проводились эксперименты с аргоном, неоном и другими одноатомными газами, по своим свойствам аналогичными гелию, ранее исследовалось поведение антипротонов в водороде, где также не обнаружена задержанная аннигиляция); фракция долгоживущих антипротонов, как и время жизни, слабо зависит от давления газообразного гелия в диапазоне от 1 до 10 атм, примерно те же значения времени жизни и фракции «задержанных» антипротонов наблюдались и в жидком гелии; детальный анализ показал, что в гелии могут возникать несколько фракций долгоживущих антипротонов, каждая из которых характеризуется своим временем жизни: от 1—2 до 15 мкс; даже небольшие молекулярные примеси (например, молекулярного водорода  $H_2$ ) резко уменьшают время жизни «задержанных» антипротонов.

Чтобы понять необычность этих экспериментальных наблюдений и возможные теоретические объяснения, следует сопоставить их с имеющимися сведениями о поведении антипротонов в других средах. Наиболее характерное явление для античастиц (не только антипротонов), попадающих в вещество,— аннигиляция, которая происходит при «встрече» античастицы и ее партнера. Для антипротонов такими партнерами являются протоны атомных ядер. В результате аннигиляции этих частиц появляются в основном  $\pi$ -мезоны, которые и фиксируются в экспериментальной установке. Аннигиляция может происходить с большой вероятностью, только если антипротон захватывается на орбиту в электрическом поле положительно заряженного атомного ядра (прямое столкновение антипротона с ядром значительно менее вероятно в силу малых размеров ядра по сравнению с атомными размерами). Так возникает экзотический атом, в котором вместо легкого электрона на орбите вокруг атомного ядра оказывае-

<sup>6</sup> Yamazaki T. et al. // Nature. 1993. V. 361. P. 238.

<sup>7</sup> Condo G. T. // Phys. Lett. 1964. V. 9. P. 65.

<sup>8</sup> Russel J. E. // Phys. Rev. Lett. 1969. V. 23. P. 63.

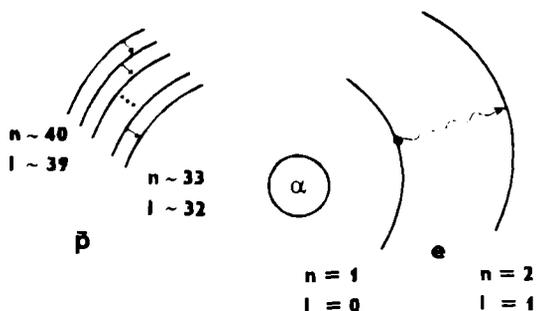
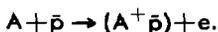


Схема уровней экзотического атома ( $\alpha e\bar{p}$ ).  $n$  — главное квантовое число, характеризующее энергию электрона или антипротона в атоме;  $l$  — значение соответствующего орбитального момента.

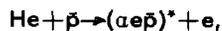
ся тяжелая отрицательная частица — антипротон; такой атом живет до тех пор, пока антипротон и атомное ядро не сблизятся до расстояний, на которых происходит аннигиляция. Когда антипротоны из накопительного кольца LEAR попадают в мишень, их первоначальные энергии (несколько миллионов электронвольт) слишком велики для захвата на атомную орбиту, антипротоны постепенно теряют свою энергию в неупругих столкновениях с атомами до тех пор пока их энергия не сравнится с энергией электронов атомов (десятки электронвольт). Этот процесс замедления антипротонов в веществе происходит за время не более  $10^{-12}$  с. Антипротоны, обладающие энергией, сравнимой с энергией электронов в атомах, могут быть захвачены на атомные орбиты. Там они передают избыток своей энергии электрону, который за счет нее покидает атом. Этот процесс условно обозначают следующим образом:



В этой формуле  $A$  обозначает атом среды,  $\bar{p}$  — антипротон,  $(A + \bar{p})$  — экзотический атом, в котором один из электронов замещен антипротоном,  $e$  — электрон, «вытесненный» из атома антипротоном. Эволюция образовавшегося таким образом экзотического атома определяется как внешними процессами, т. е. взаимодействием этого атома с атомами внешней среды, так и внутренними, которые происходят с изолированным атомом ( $A + \bar{p}$ ). Антипротон, теряя свою энергию во внешних или внутренних взаимодействиях, переходит с орбит, удаленных от атомного ядра, на орбиты, все более и более близкие к ядру, до тех пор, пока не произойдет аннигиляция. В достаточно хорошо изученном случае взаимодей-

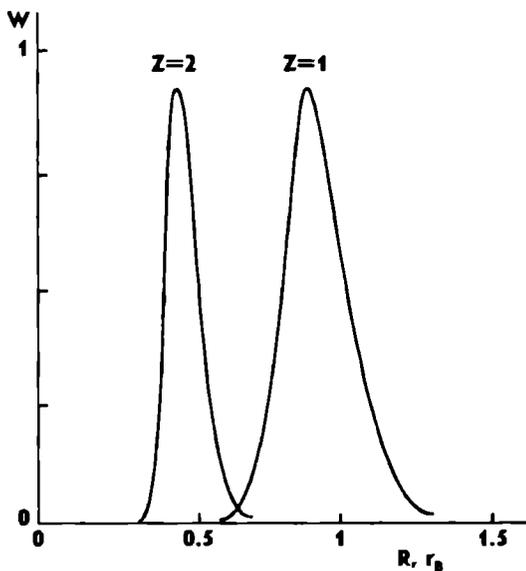
ствия антипротонов с водородом время жизни экзотического атома ( $H + \bar{p}$ ) оказывается порядка  $10^{-12}$  с. Это характерный масштаб времен для процессов атомных взаимодействий (в частности, для взаимодействия антипротонов с атомами вещества). Аналогичные времена жизни антипротонов характерны и для многих других сред. Поэтому тот факт, что в гелии время жизни некоторой части антипротонов более чем в миллион раз больше этого характерного времени, представляется весьма интригующим и указывает на качественные особенности процесса эволюции антипротонов в гелии.

**Теоретическая модель эволюции экзотического атома ( $H + \bar{p}$ ).** Мы рассмотрим возможный сценарий задержанной аннигиляции антипротонов в гелии, активно обсуждающийся в литературе. Основные положения теоретической модели, о которой пойдет речь, состоят в следующем. Антипротон захватывается на атомную орбиту в результате описанного выше процесса:



здесь  $\alpha$  — ядро атома гелия, а  $(\alpha e\bar{p})^*$  — экзотический атом, в котором один из электронов гелия замещен антипротоном. Особенность орбит, на которые захватываются «долгоживущие» антипротоны, состоит в том, что эти орбиты характеризуются максимально возможным при данной энергии антипротона угловым моментом и максимально удалены (при данной энергии) от атомного ядра. Такие орбиты называют круговыми. Заметим, что при квантово-механическом рассмотрении атомных систем можно лишь условно говорить об орбитах или траекториях частиц: в строгом смысле определены только квантовые состояния систем частиц, характеризуемые определенным набором физических величин, таких как энергия и угловой момент, соответствие между этими квантовыми состояниями и классическими траекториями частиц оказывается в большой степени неопределенным. Если исключить возможность потери энергии антипротоном в различных внутренних и внешних процессах взаимодействий, то такое состояние атома  $(\alpha e\bar{p})^*$  может существовать чрезвычайно долго, поскольку очень мала вероятность проникновения антипротона на малые от атомного ядра расстояния, где происходит аннигиляция. (С точки зрения классической механики, антипротон вообще никогда не встретится с ядром, если находится на круговой орбите и не теряет энергию; в кван-

товой механике существует отличная от нуля вероятность того, что антипротон проникнет на малые расстояния и проаннигилирует, однако в случае указанного состояния с большим угловым моментом (круговой орбиты) эта вероятность пренебрежимо мала.) Таким образом, очевидно, что время жизни антипротона в атоме  $(\alpha e p)^*$  определяется процессами, в которых происходит передача энергии и углового момента от антипротона к другим участникам взаимодействий и переход антипротона в состояния, характеризующиеся меньшей энергией, меньшим угловым моментом (а значит, и меньшим средним радиусом орбиты) и большей вероятностью проникновения антипротона к атомному ядру. Уместен вопрос, насколько устойчив атом  $(\alpha e p)^*$  как изолированная система, если учесть возможность передачи энергии от антипротона к оставшемуся электрону (как помнит читатель, один из двух электронов гелия был вытеснен антипротоном в момент образования экзотического атома). Механизм девозбуждения антипротона путем передачи энергии и углового момента электрону получил в литературе название оже-перехода. Оказывается, что рассматриваемая система действительно способна долго сохраняться по отношению к механизму оже-перехода. Причина такой устойчивости связана с тем, что всякая квантово-механическая подсистема, какой является электрон или антипротон в атоме, может в процессе взаимодействия получить (или передать) не любое, в том числе малое, количество энергии, а лишь определенное количество, необходимое для перехода из одного квантового состояния со строго определенным значением энергии и углового момента в другое квантовое состояние, с другим, также строго определенным значением энергии и углового момента. Расстояние между такими уровнями энергии электрона в атоме оказывается значительно больше, чем расстояние между уровнями энергии антипротона. В силу закона сохранения энергии и углового момента электрон приобретет столько энергии и углового момента, сколько передаст ему антипротон, а это означает, что последний должен осуществить оже-переход сразу через несколько уровней в состояния с меньшей энергией, прежде чем электрон сможет получить достаточно энергии для осуществления единственного перехода в ближайшее доступное состояние с большей энергией. Такой переход потребует передачи большого углового момента от антипротона к электрону и, как следствие, кардинального изменения «конфигурации» системы. Вероятность перехо-



Вероятность  $W$  нахождения антипротона в стабильной [ $Z=1$ ] и нестабильной [ $Z=2$ ] конфигурациях как функция расстояния  $R$  от ядра атома гелия (за единицу длины принят борковский радиус  $r_B=0.53 \times 10^{-8}$  см).

дов из состояний, локализованных в одной области пространства, в состоянии, локализованных в другой области пространства, практически не перекрывающейся с первой, чрезвычайно мала. Поэтому процессы передачи энергии и углового момента от антипротона, находящегося на удаленной от ядра круговой орбите, к электрону происходят с очень низкой интенсивностью, и система способна длительное время (в атомном масштабе времен) сохраняться. Таким образом, приведенные выше качественные аргументы показывают, что изолированный от внешних воздействий экзотический атом  $(\alpha e p)^*$  может иметь большое время жизни. Расчеты, в которых учитываются потери энергии и углового момента антипротоном вследствие спонтанного электромагнитного излучения, показывают, что время жизни такой системы составляет величину в несколько микросекунд, что согласуется по порядку величины с экспериментальными данными<sup>9</sup>.

**Взаимодействие экзотических атомов с внешней средой.** Указанные выше аргументы не могут тем не менее претендовать на полное объяснение явления задержан-

<sup>9</sup> Yamazaki T., Ohtsuki K. // Phys. Rev. A45. 1992. P. 6202; Воронин А. Ю., Дальваров О. Д. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 60. Вып. 3. С. 158.

ной аннигиляции, поскольку до сих пор не был затронут вопрос о возможном влиянии на время жизни «задержанных» антипротонов взаимодействия с атомами среды. В действительности, в случае других (негелиевых) сред, например в случае водорода, взаимодействие с атомами окружающей среды оказывается чрезвычайно существенным. Особенно сильным такое влияние может быть в случае жидких сред. Возможная причина, по которой взаимодействие с внешними атомами гелия не разрушает долгоживущие состояния, состоит, по-видимому, в следующем. Такое взаимодействие может быть достаточно сильным, чтобы вызвать интенсивные переходы антипротонов с «высоких» на более «низкие» орбиты, только при условии, что экзотический атом и обычный атом гелия сблизятся на столь малые расстояния, что произойдет заметное перекрытие электронных оболочек обоих атомов. Этому препятствует сильное отталкивание, возникающее между электронами этих атомов. Дело в том, что при сильном перекрытии электронных состояний сразу несколько электронов должны оказаться в одном и том же квантовом состоянии, что запрещено принципом Паули, согласно которому в данном квантовом состоянии может находиться только один электрон. Тот факт, что такие состояния не могут реализоваться, проявляется в эффективном отталкивании, препятствующем сближению электронов. Таким образом, электрон в атоме ( $\alpha e p$ )<sup>\*</sup> играет стабилизирующую роль, препятствуя неупругим столкновениям с окружающими атомами гелия. Слабая зависимость времени жизни «задержанной» компоненты от давления (а значит, и от интенсивности столкновений с окружающими атомами), наблюдаемая в эксперименте, по-видимому, подтверждает указанные соображения.

Заметим, что приведенные аргументы в пользу стабильности экзотического атома ( $\alpha e p$ )<sup>\*</sup> справедливы только по отношению к взаимодействиям этого атома с атомами гелия, в которых электронная оболочка полностью заполнена и «не допускает» проникновения дополнительного электрона. В то же время атом ( $\alpha e p$ )<sup>\*</sup> может взаимодействовать с примесями атомов инертных газов (и молекулярными образованиями), у которых электронная оболочка не заполнена до конца и допускает захват на атомную орбиту «постороннего» электрона. Такое взаимодействие может, в принципе, привести к переходу антипротона в состояние, характеризующееся малыми средними расстояниями от ядра и большой интенсив-

ностью аннигиляции, а значит, и к разрушению долгоживущих состояний. Это подтверждается тем, что введение некоторых (молекулярных) примесей в гелиевую среду резко уменьшает время жизни задержанной компоненты.

К сожалению, до сих пор не опубликовано сколько-нибудь подробных теоретических расчетов, касающихся взаимодействия рассматриваемых экзотических атомов со средой, поэтому все приведенные выше качественные аргументы по этому поводу можно рассматривать лишь как наводящие соображения.

**Влияние лазерного излучения на время жизни антипротонов в гелии.** В последнее время были получены интересные результаты<sup>10</sup> исследований структуры экзотических атомов ( $\alpha e p$ )<sup>\*</sup>. В этих экспериментах на долгоживущую фракцию антипротонов воздействовали интенсивным лазерным излучением. Такие исследования представляют интерес, поскольку антипротон способен взаимодействовать с электромагнитным излучением лазера и совершать в результате такого взаимодействия переходы из одних квантовых состояний в другие. Если частота (а следовательно, и энергия) излучения попадает в резонанс с одной из частот квантовых переходов антипротона, тогда такой переход происходит особенно интенсивно. Подбором частоты лазера можно вызвать переход антипротона из долгоживущих состояний в состояния, где происходит быстрая аннигиляция. В этом случае сразу же после включения лазера в экспериментальной установке должен наблюдаться всплеск аннигиляционных событий. Такой эффект действительно имеет место при частоте лазера, отвечающей ожидаемому антипротонному переходу. Успешные лазерные эксперименты рассеяли последние сомнения в том, что явление задержанной аннигиляции порождено экспериментальной ошибкой, продемонстрировав, что на задержанную компоненту можно оказывать направленное воздействие. Тем не менее результаты этих экспериментов в настоящее время не имеют однозначной интерпретации. Дело в том, что интенсивность наблюдаемого пика аннигиляционных событий не согласуется с имеющимися теоретическими оценками (она оказывается слишком большой). Кроме того, было предсказано несколько частот лазер-

<sup>10</sup> Yamazaki T. et al. // Phys. Rev. Lett. 1994. V. 72. P. 1180.

ного излучения, при которых должны наблюдаться аннигиляционные пики. Они отвечают различным возможным долгоживущим состояниям антипротона в атоме ( $\alpha e\bar{p}$ )\*. Но в эксперименте наблюдается аннигиляционный пик только при одной частоте лазера. Эти расхождения теоретических предсказаний и эксперимента, возможно, свидетельствуют о том, что реализуются другие механизмы распада долгоживущих состояний экзотического атома под действием лазерного излучения. По мнению авторов статьи, таким механизмом может быть возбуждение не антипротонного, а электронного перехода лазерным излучением. Процесс поглощения лазерного излучения электроном одновременно с обменом энергией с антипротоном может привести к ионизации атома ( $\alpha e\bar{p}$ )\*. В результате потери электрона, обеспечивающего стабильность экзотического атома при взаимодействии с окружающей средой, долгоживущие антипротонные состояния разрушаются в столкновениях с внешними атомами, и происходит интенсивная аннигиляция.

В настоящее время проблема задержанной аннигиляции интенсивно изучается как экспериментально, так и теоретически. В области теории сегодня существует большое число нерешенных и просто неисследованных проблем, поэтому говорить о детальном понимании явления задержанной аннигиляции пока рано. Большой опыт, накопленный теоретиками в области атомных взаимодействий, зачастую оказывается неприменимым к проблеме взаимодействия антипротонов с веществом. Существенной особенностью антипротонов является то, что они, будучи отрицательно заряженными тяжелыми частицами, способны захватываться на орбиты атомными ядрами и формировать экзотические атомы, подобные ( $\alpha e\bar{p}$ )\*. Такие атомы характеризуются богатым спектром высоковозбужденных квантовых состояний и разнообразными механизмами взаимодействия с окружающей средой. Исследование таких экзотических образований показывает, что антипротон может жить в веществе значительно дольше, чем предполагалось до открытия явления задержанной аннигиляции, и, возможно, не исключены такие системы, в которых античастицы способны естественным образом существовать в течение макроскопических времен. Это обстоятельство, наряду с чисто теоретическим интересом, придает проблеме и практический интерес, связанный с надеждой использовать огромную энергию, заключенную в антиматерии и высвобождающуюся при аннигиляции.

## ФИЗИКА АНТИВЕЩЕСТВА

**Экспериментальное исследование фундаментальных симметрий взаимодействий элементарных частиц.** Большой научный интерес представляет изучение более сложных образований античастиц — антиядер, антиатомов и антимолекул, как с точки зрения понимания фундаментальных законов природы, так и с точки зрения возможных практических приложений<sup>11</sup>. Теоретический интерес к такого рода системам связан с возможностью исследовать фундаментальные соотношения симметрии в окружающем нас мире. Взаимодействия между различными частицами (в том числе между частицами и античастицами) оказываются симметричными по отношению к различного рода преобразованиям (либо их комбинациям), таким как замена заряда всех частиц на противоположный (С-преобразование), отражение координат (Р-преобразование), обращение времени (Т-преобразование). Серьезным потрясением для интуитивной веры в симметрию окружающего мира стало открытие в 1964 г. В. Фитчем и Дж. Кронином нарушения СР-симметрии в распадах так называемых «странных» К-мезонов («странность» — одна из квантовых характеристик частиц, подобных электрическому и барионному заряду)<sup>12</sup>. Другое свидетельство асимметрии природы состоит в том, что в видимой части Вселенной не обнаружено скоплений антивещества и, следовательно, имеет место асимметрия Вселенной в пользу «обычной» материи. Решение этого и других вопросов требует экспериментальной проверки свойств симметрии фундаментальных взаимодействий с очень высокой степенью точности. На сегодняшний день все экспериментальные данные свидетельствуют о том, что последовательность С-, Р- и Т-преобразований оставляет все свойства физических систем неизменными (так называемая СРТ-теорема), иными словами, все физические процессы в мире античастицы происходят так же, как и в мире частиц. Тем не менее существует ряд теоретических моделей взаимодействия элементарных частиц, в которых допускается нарушение СРТ-инвариантности<sup>13</sup>. Для экспериментальной про-

<sup>11</sup> Eades J. et al. // «Antihydrogen Physics». CERN-PRE/94—18.

<sup>12</sup> За это открытие В. Фитч и Дж. Кронин были удостоены Нобелевской премии. См.: Смондырев М. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года. По физике — Дж. Кронин и В. Фитч // Природа. 1981. № 1. С. 98—101.

<sup>13</sup> Wald R. M. // Phys. Rev. D21. 1980. P. 2742.

верки СРТ-теоремы чрезвычайно полезным может оказаться простейший атом антивещества — атом антиводорода, состоящий из антипротона и позитрона<sup>14</sup>. Спектроскопические измерения расстояний между уровнями такого атома, которые можно провести с очень высокой точностью и сравнение их с результатами спектроскопических измерений для атома водорода позволило бы провести прецизионный тест СРТ-инвариантности. Специальный интерес представляет изучение гравитационных свойств антиматерии, в частности определение гравитационной массы античастиц. Для весьма сложных экспериментов такого рода удобным объектом могут быть электрически нейтральные атомы антивещества (антиводорода).

**Взаимодействие вещества и антивещества.** Другим аспектом исследований антивещества, представляющим несомненный интерес, является проблема взаимодействия вещества и антивещества (т. е. взаимодействие сложных систем частиц и античастиц, таких как атомы и молекулы). С этой проблемой связаны многочисленные возможные практические применения антивещества, обсуждаемые в литературе. Интерес к антивеществу в этой области связан с тем, что аннигиляция антиматерии является чрезвычайно мощным источником энергии. Стоит сказать, что энергетический выход реакции аннигиляции протона и антипротона примерно в тысячу раз больше, чем энергетический выход реакции термоядерного синтеза. Это обстоятельство позволяет надеяться получить в будущем очень компактный и мощный источник энергии, который может быть использован, например, в двигателях космических ракет. Нужно отметить, что проекты такого рода уже сейчас активно обсуждаются и оцениваются как осуществимые в недалеком будущем<sup>15</sup>. Проблема использования антиматерии упирается в проблему получения, накопления и хранения античастиц либо атомов антивещества. С точки зрения хранения электрически нейтральные атомы антивещества (антиводорода) представляются наиболее удобными. Аккумуляция макроскопических количеств антиводорода возможна, в принципе, в различного рода электромагнитных ловушках, в которых атомы удерживаются от вылета особым образом распределенным в простран-

стве электромагнитным полем. Наиболее известны статические ловушки (так называемые ловушки Пеннинга), в которых используется статическое электромагнитное поле. Весьма перспективными представляются динамические радиочастотные ловушки, в которых антивещество удерживается благодаря взаимодействию атомов с переменным во времени электромагнитным полем, а также лазерные ловушки, в которых антивещество удерживается за счет взаимодействия с интенсивным лазерным излучением. Эффективное удержание антивещества в известных сейчас ловушках возможно лишь при сверхнизких температурах (порядка долей градуса Кельвина), при которых тепловой кинетической энергии атомов недостаточно для преодоления потенциального барьера ловушки. Открытие явления задержанной аннигиляции позволяет надеяться на создание «естественных» ловушек, в которых античастицы будут способны существовать в течение макроскопических времен.

**Синтез антиводорода.** Важной проблемой, которую предстоит решить для осуществления экспериментальных проектов по исследованию антивещества, является проблема синтеза антиводорода. Синтез антиводорода как для исследовательских целей, так и для практического использования требует высокоинтенсивных пучков антипротонов и позитронов низких энергий. Один из возможных способов получения антиводорода основан на процессе радиационного захвата антипротонами позитронов в реакции



где  $e^+$  — символ позитрона,  $\bar{H}$  — антиводорода,  $h\nu$  — соответствует испускаемому фотону. В этом процессе позитрон, взаимодействуя с антипротоном, передает избыток своей энергии фотону (испускает фотон) и захватывается антипротоном на атомную орбиту, в результате чего и возникает антиводород. Интенсивность этой реакции можно заметно увеличить (примерно в тысячу раз), если дополнительно облучать лазером систему антипротон — позитрон. Такой эффект носит название индуцированного излучения. Проект синтеза антиводорода, основанный на радиационном захвате, рассматривается в рамках программы LEAR — ULEAP<sup>16</sup>. В случае его осуществления интенсивность синтеза антиводорода будет доведена до  $10^4$  атомов в секунду.

<sup>14</sup> Eades J. // *Hyperfine Interactions*. 1993. V. 76. N 1—4.

<sup>15</sup> Morgan D. L., Jr. // *Proc. of the Rand Workshop on Antiproton Science and Technology*. 1987. P. 530.

<sup>16</sup> Antihydrogen: Proceedings of the Antihydrogen Workshop // *Hyperfine Interactions*. 1993. V. 76. N 1—4.

Другой возможный механизм синтеза антиводорода основан на реакции между антипротоном и позитронием (атомом, состоящим из электрона и позитрона; обозначается Ps), в результате которой избыток кинетической энергии передается электрону, а позитрон и антипротон образуют атом антиводорода:



Даже в простейшей схеме эксперимента эта реакция дает возможность получать до 100 атомов антиводорода в секунду, однако интенсивность выхода реакции можно увеличить на несколько порядков, если использовать позитроний в возбужденных состояниях. Дело в том, что эффективный радиус позитрония зависит от главного квантового числа, характеризующего возбужденные состояния как  $n^2$ , а следовательно, сечение реакции, пропорциональное квадрату эффективного радиуса, зависит от главного квантового числа как  $n^4$ . Можно воздействовать на зону реакции лазерным излучением с частотами, отвечающими переходам пози-

трония в возбужденные состояния, и тем самым существенно увеличить интенсивность образования антиводорода.

В настоящее время активно обсуждаются эти и другие проекты синтеза антиводорода, которые планируется осуществить на установке LEAR.

Многочисленные аспекты проблемы исследования антиматерии невозможно уместить в рамках одной статьи. Неожиданные свойства взаимодействия материи и антиматерии, обнаруженные в последние годы и не имеющие исчерпывающего объяснения, выявили множество весьма интересных и практически нерешенных физических проблем, которые привлекают сегодня большое внимание исследователей. Осуществление проектов по синтезу антиводорода даст современной физике совершенно новый объект исследования — атом антивещества, изучение свойств которого существенным образом расширит наши представления об окружающем мире.

## НОВОСТИ НАУКИ

### Физика

#### Новые прецизионные измерения массы антипротона

Уникальный эксперимент, выполненный физиками Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН, Женева), позволил с большой точностью (в 40 раз превосходящей известную до этого опыта) осуществить проверку фундаментального положения современной физики — CPT-теоремы, согласно которой массы частиц и античастиц должны быть в точности равны друг другу. С помощью специальной ловушки для антипротонов, предварительно накопленных в низкоэнергетическом антипротонном кольце LEAR,

удалось выполнить прямое измерение массы этих части, которая оказалась с точностью до одной миллиардной совпадающей с массой протона.

Антипротонная ловушка (ловушка Пеннинга) представляла собой сочетание сильного магнитного поля, создаваемого сверхпроводящим электромагнитом, и управляемого электрического поля, конфигурация которого обеспечивала удержание антипротонного и электронного газов в объеме ловушки. Наличие двухкомпонентной плазмы (около  $10^4$  антипротонов и  $10^7$  электронов) при одной и той же температуре (4.2K) было необходимо в целях "охлаждения" антипротонного газа, т.е. гашения хаотической тепловой скорости антипротонов с помощью электронов. В результате движение антипротонов, остав-

шихся в ловушке после всех неизбежных потерь (примерно 15 частиц!), принимало строго определенный характер вращения вокруг магнитного поля с так называемой циклотронной частотой, зависящей только от отношения заряда к массе антипротона и величины напряженности магнитного поля. Детектирование радиочастотного сигнала, излучаемого вращающимся антипротоном, позволило с высокой точностью определить соответствующее значение циклотронной частоты. Ее сравнение с аналогичными измерениями для протонов в том же магнитном поле дало возможность прецизионного определения отношения масс протона и антипротона.

# Спиновые стекла: новая термодинамика

Е.А.Дорофеев, В.С.Доценко



*Евгений Александрович Дорофеев, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН. Специализируется в области физики неупорядоченных систем.*



*Виктор Степанович Доценко, кандидат физико-математических наук (в июне 1994 г. защитил докторскую диссертацию по теме "Спиновые стекла"), старший научный сотрудник того же института. Автор (совместно с братом - Вл. С. Доценко) широко известной работы по критическому поведению модели Изинга с беспорядком. Область научных интересов - критические явления в неупорядоченных системах.*

Мы не ставим в этой статье перед собой задачи рассмотреть всю физику спиновых стекол. Наша цель - дать чисто качественное и сильно упрощенное представление о том, как устроена низкотемпературная фаза спиновых систем со случайным взаимодействием. Оказывается, что такие системы проявляют экзотическое термодинамическое поведение, несвойственное упорядоченным системам. Это тем более интересно, что речь идет, по-видимому, о явлениях общего характера, имеющих отношение не только к неупорядоченным магнетикам, с которых начались эти исследования.

В последние годы спин-стекляная тематика стала включать в себя такие на первый взгляд не похожие друг на друга проблемы, как статистические модели ассоциативной памяти (нейронные сети, нейрокомпьютеры<sup>1</sup>), моделирование эволюции<sup>2</sup>, проблемы самосборки белка в процессе биосинтеза, задачи оптимизации при проектировании компьютеров<sup>3</sup> и т.д. В результате наука, которая раньше называлась "спиновые стекла", в настоящее время раздробилась на множество отдельных ветвей, которые теперь живут своей отдельной жизнью.

## ЧТО ТАКОЕ СПИНОВОЕ СТЕКЛО?

В природе существует довольно много различных реальных систем, которые называют спиновыми стеклами. Состав их, как правило, ничем не примечателен (например, небольшое количество атомов железа, разбросанных по решетке из атомов меди), но их магнитные свойства чрезвычайно сложны. Поэтому, чтобы разобраться в том, что же такое спиновые стекла и почему они так называются, нам нужно обратиться к области атомных магнитных явлений.

Некоторые атомы из периодической системы, например атомы железа, никеля или хрома, ведут себя как маленькие магнитики. Подобно стрелке компаса, они реагируют на магнитные поля и сами являются их источниками. Эта атомная магнитная стрелка называется вектором магнитного момента, или спином.

Когда вещество, состоящее из таких атомов, подвергается воздействию внешнего магнитного поля, спины стремятся сориентировать-

© Дорофеев Е.А., Доценко В.С. Спиновые стекла: новая термодинамика.

<sup>1</sup> Amit D. *Modelling Brain Function*. Cambridge, 1989.

<sup>2</sup> Gilbert W. // *Nature*. 1986. V.319. P.618.

<sup>3</sup> Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. *Optimization by Simulated Annealing* // *Science*. 1983. V.220. P.671.

ся вдоль него. В некоторых веществах такое выстраивание спинов происходит не под действием внешнего магнитного поля, а в результате сильного взаимодействия между атомами. Такое взаимодействие обусловлено квантово-механической природой электронов, для которых энергетически более выгодно определенная ориентация спинов соседних атомов.

Например, в железе такое взаимодействие выстраивает спины соседних атомов в одном направлении. Другими словами, если спины двух соседних атомов железа направлены в одну сторону, то для того, чтобы изменить направление одного из спинов на обратное, необходима дополнительная энергия. И наоборот, если спины направлены в противоположные стороны, при выстраивании их в одном направлении энергия высвобождается. Следовательно, полная магнитная энергия железа минимальна, когда спины всех атомов направлены в одну и ту же сторону. Такое упорядочение называется ферромагнетизмом, поскольку оно объясняет сильный магнетизм железа, хотя оно наблюдается и в кобальте, никеле и многих других веществах. По этой же причине все вещества этого класса называют ферромагнетиками.

На упорядочение спинов в ферромагнетике может повлиять повышение температуры. Если чистое железо нагреть до высокой температуры, тепловые колебания разрушат ферромагнитное упорядочение. При этом спин каждого атома начинает беспорядочно вращаться в пространстве, так что его усредненное по времени значение обратится в нуль (т. е. спин атома в среднем одинаковое количество времени "смотрит" во все направления). Соответственно, и векторная сумма всех спинов, или суммарная намагниченность, тоже станет равной нулю. Это уже другая фаза железа, и в этой фазе его называют парамагнетиком.

Когда температура железа понижается, тепловые колебания атомов, начиная с определенного момента, уже не в силах противостоять взаимодействию спинов, которые стремятся упорядочиться и перевести систему в низкоэнергетическое состояние. Происходит это при некоторой критической температуре  $T_c$  (для железа она равна  $771^\circ\text{C}$ ), когда ориентация системы атомных спинов резко меняется так, что большинство из них выстраивается в одном направлении. При этом спин каждого атома продолжает хаотически вращаться, но уже вокруг не произвольной, а одной общей для всех спинов выделенной оси. Среднее значение спина, одинаковое для каждого атома, уже не равно нулю. Другими словами, система замерзает в низкоэнергетическом состоянии. Об этой радикальной перестройке поведения спинов при критической температуре говорят, что система испытывает фазовый переход из парамагнитного состояния в ферромагнитное.

Отметим, что у других веществ состоянию с низкой энергией отвечает иная взаимная ори-

ентация соседних спинов. Например, соседние атомы хрома стремятся ориентировать свои спины в противоположных направлениях. Поскольку такое поведение противоположно поведению атомов железа, эти вещества называют антиферромагнетиками. Как и любой ферромагнетик, антиферромагнетик имеет критическую температуру, при которой он из парамагнитного (случайное положение спинов) переходит в антиферромагнитное (спины соседних атомов в решетке ориентированы в противоположных направлениях).

Теперь, когда мы разобрались с разными типами упорядоченных (идеальных) магнитных систем, мы можем вернуться к спиновым стеклам. Что же это за вещества? Слово "спиновое" означает, что мы имеем дело с системой магнитных атомов. Что касается слова "стекло", то оно означает, что мы имеем дело с неупорядоченной структурой. Обычное оконное стекло, строго говоря, не является твердым телом. Вообще говоря, это - жидкость с очень большой вязкостью. В настоящем твердом теле атомы занимают определенные места в узлах кристаллической решетки, в то время как в стекле атомы расположены по пространству совершенно случайно. Поэтому у физиков выражения "стекло", "стеклоподобное состояние" ассоциируются с системой, которой присущ внутренний беспорядок. В спиновом стекле этот беспорядок проявляется в том, что взаимодействие пары соседних магнитных атомов может быть как ферромагнитным, так и антиферромагнитным, и это взаимодействие является случайной в пространстве величиной.

Хотя причины такого характера взаимодействий нельзя объяснить, не вдаваясь в тонкости квантовой теории, качественно его можно описать следующим образом. Рассмотрим магнитный атом, внедренный в немагнитный металл, например, атом железа в кристаллической решетке из меди. Каждый электрон проводимости, который свободно движется по меди, обладает своим собственным спином (т. е. тоже является маленьким магнетиком) и поэтому взаимодействует со спином атома железа. При этом оказывается, что взаимодействует довольно странным образом: на некотором расстоянии от атома спины электронов выстраиваются параллельно спину атома, немного дальше спин электрона антипараллелен спину атома, еще дальше спины параллельны и т.д. Таким образом, магнитный атом оказывается центром концентрических сферических слоев, внутри которых его влияние на электрон проводимости является попеременно то ферромагнитным, то антиферромагнитным, и уменьшается с расстоянием. Если мы теперь имеем два магнитных атома в решетке меди, они будут взаимодействовать не непосредственно, а через электроны проводимости. Такое косвенное взаимодействие магнитных моментов называют взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Йосиды

(РККИ). В силу описанной выше картины это взаимодействие может быть либо ферромагнитным, либо антиферромагнитным в зависимости от расстояния между атомами. Осциллирующий характер РККИ-взаимодействия приводит к возникновению магнитного беспорядка. Действительно, добавим небольшое количество железа в медь. Атомы железа займут случайные положения в решетке меди, и мы получим систему, в которой спин-спиновые взаимодействия будут случайны как по величине, так и по знаку. Это и есть типичное спиновое стекло.

### ФРАСТРАЦИИ

Для того чтобы избежать не относящихся к делу усложнений, будем считать в дальнейшем, что спины магнитных атомов могут быть только параллельны или антипараллельны некоторому зафиксированному в пространстве направлению. (О магнетиках с таким свойством говорят, что они относятся к типу "легкая ось".) В этом случае спин магнитного атома можно описать переменной  $\sigma$ , принимающей значение  $+1$ , если спин атома ориентирован параллельно заданному направлению, и  $-1$ , если антипараллельно. Пусть теперь магнитные атомы перенумерованы каким-либо способом, и число этих атомов равно  $N$ . Тогда произвольная спиновая конфигурация системы задается некоторым "словом" длины  $N$ , состоящим из букв  $+1$  и  $-1$ :

$$\{\sigma_i\} = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N\}. \quad (1)$$

Из комбинаторики известно, что число таких "слов" равно  $2^N$ . Совокупность этих слов описывает всевозможные состояния спинового стекла.

Энергия конкретного спинового состояния дается следующим выражением:

$$E\{\sigma\} = -\frac{1}{2} \sum_{i,j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad (2)$$

где взаимодействие двух спинов  $i$  и  $j$  определяют числа  $J_{ij}$ . Такая модель магнетика называется моделью Изинга и является одной из наиболее изученных и любимых в теоретической физике магнитных явлений. Если при этом числа  $J_{ij}$  случайны как по величине, так и по знаку и задана их функция распределения, то спиновое стекло, которое можно описать этой конструкцией, называется изинговским спиновым стеклом.

Оказывается, что все трудности при изучении спиновых стекол, а также вся сложность и запутанность их фазовых переходов (мало похожих на фазовый переход парамагнетик - ферромагнетик) обусловлены наличием в спиновых стеклах так называемых фрустраций. Чтобы представить себе, что это такое, рассмотрим три произвольных взаимодействующих между собой спина (рис. 1) и будем для простоты считать, что эти взаимодействия одинаковы

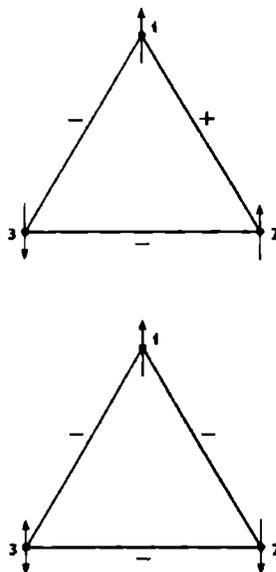


Рис. 1. Появление фрустраций в системе из трех спинов. Спиновый треугольник, в котором произведение взаимодействий положительно: фрустраций нет, основное состояние не вырождено (вверху). Спиновый треугольник с отрицательным произведением взаимодействий: появилась фрустрация, основное состояние вырождено (внизу).

по величине, но могут иметь разный знак, т.е. быть либо ферро-, либо антиферромагнитного типа. Если все три константы взаимодействия  $J_{12}, J_{23}, J_{31}$  положительны, или если две из них отрицательны (т.е. когда произведение констант взаимодействий вдоль треугольника положительно), то основное состояние (минимум энергии) этой трехспиновой системы будет единственным - с точностью до глобального изменения знака всех трех спинов (см. рис. 1, вверху). Однако, если произведение взаимодействий вдоль треугольника отрицательно (одно из взаимодействий отрицательно или все три взаимодействия отрицательны), то основное состояние такой системы оказывается вырожденным. Действительно, зафиксируем первый спин, скажем вверх, и будем совершать обход вокруг треугольника, выставляя ориентацию спинов в соответствии с заданными взаимодействиями. Тогда энергия системы при ориентации третьего спина "вверх" и "вниз" будет одинаковой. Соответственно, состояние системы будет дважды вырожденным (см. рис. 1, внизу).

Вырождение основного состояния возникает в любой замкнутой цепочке, состоящей из произвольного числа спинов, если произведение спин-спиновых взаимодействий вдоль цепочки отрицательно. Это явление и называется фрустрацией, от англ. frustration, которое в буквальном переводе означает "крушение надежд". Этот тер-

мин представляется вполне удачным, если заметить, что приведенный выше спиновый треугольник можно также интерпретировать как классический любовный треугольник. Кроме того, как будет видно, наличие фразстрации в неупорядоченных спиновых системах разрушает всякую надежду на простое решение проблемы.

В системах с большим числом магнитных атомов можно нарисовать огромное количество всевозможных замкнутых многоспиновых цепочек. Если при этом спин-спиновые взаимодействия случайны по знаку, то, соответственно, в системе окажется много фразстраций, и это может привести к колоссальному вырождению основного состояния. Кроме того, в такой системе может существовать огромное количество состояний с низкой энергией, очень близкой к энергии основного состояния. Употребляя слово "огромное" мы имеем в виду не 100 и не 1000 000. Дело в том, что хотя концентрация магнитных атомов в немагнитной решетке может составлять доли процента, число этих атомов в макроскопических объектах очень велико (порядка  $10^{19}$ - $10^{21}$ ). А число состояний, близких к основному, например, для изинговских систем оказывается порядка  $e^{\lambda N}$ , где  $\lambda$  - некоторое число, меньшее  $\ln 2$  (полное число всех состояний, как мы уже упоминали, равно  $2^N = e^{(\ln 2)N}$ ). При  $N$  порядка  $10^{19}$ - $10^{21}$ , величина  $e^{\lambda N}$  является невообразимо большим числом, и именно такие числа мы имеем в виду, когда говорим "огромное число состояний".

Этот масштаб числа состояний, близких к основному, качественно иной, чем, например, у ферромагнетика, и определяет специфику спинового стекла, в частности, он приводит к необычному поведению системы при низких температурах.

Проблема физики спинового стекла как раз и состоит в понимании термодинамического поведения систем, обладающих такими специфическими свойствами.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И ЭРГОДИЧНОСТЬ

В общем случае характер термодинамического поведения системы в значительной степени определяется тем, как устроены ее локальные минимумы энергии. Локальным минимумом, или долиной, мы будем называть такое состояние системы, когда переворот любого спина (или любого конечного числа спинов) может только увеличить ее энергию. Пусть теперь мы имеем два локальных минимума. Эти два состояния отличаются друг от друга тем, что какое-то число спинов (возможно, очень большое) сориентировано в противоположных направлениях. Мы можем получить одно состояние из другого путем последовательного переворота этих спинов, один за другим. В результате этого процесса энергия системы сначала

будет увеличиваться, дорастет до какой-то характерной величины, а потом обязательно станет уменьшаться. Таким образом, чтобы перейти из одного локального минимума в другой, мы должны, как говорят, преодолеть энергетический барьер.

Энергетические барьеры, разделяющие локальные минимумы, могут быть, условно говоря, двух типов. Первый - конечный энергетический барьер, величина которого сравнима по порядку величины с характерной энергией взаимодействия пары спинов. Для этих барьеров характерно то, что их высота не зависит от полного числа спинов в системе, и формально, при  $N$ , стремящемся к бесконечности, энергия барьеров остается конечной.

Наоборот, высота энергетического барьера второго типа пропорциональна полному числу спинов в системе, и когда это число стремится к бесконечности, высота барьера становится бесконечной.

Барьеры второго типа характерны, например, для ферромагнетика, о котором мы говорили в самом начале статьи. Действительно, в ферромагнитной фазе система замерзает в таком состоянии, когда спины сориентированы преимущественно в одном направлении. Очевидно, что состояние, полученное переворотом всех спинов, обладает такой же энергией. Однако система не может в него перескочить как раз из-за того, что для этого нужно преодолеть энергетический барьер, величина которого пропорциональна полному числу спинов в системе. (Формально это может произойти, но за время, существенно превышающее возраст Вселенной.) Другими словами, ниже температуры перехода из парамагнитного состояния в ферромагнитное пространств состояний ферромагнетика расслаивается на две "долины", разделенные бесконечным энергетическим барьером, так что система бесконечно долгое время проводит в одной из долин, и половина пространства состояний для нее недоступна. На языке статистической физики это означает нарушение эргодичности, поскольку эргодическими называются системы, в которых все состояния доступны. (Это утверждение эквивалентно известной формулировке эргодической гипотезы о равенстве средних по времени и пространству состояний в эргодических системах.) Фазовый переход парамагнетик - ферромагнетик (как, впрочем, и любой фазовый переход второго рода) есть переход нарушения эргодичности. Как мы увидим ниже, в спиновых стеклах существует целый континуум таких переходов.

Может возникнуть вопрос: почему же высокотемпературная парамагнитная фаза является эргодической? Дело в том, что обычно термодинамика системы определяется конфигурацией барьеров не просто энергии, а свободной энергии, причем их разность тем больше, чем интенсивнее тепловое движение. При достаточно высоких температурах тепловое движение

вообще разрушает энергетические барьеры, и система получает доступ во все состояния, т. е. становится эргодической. Ниже везде под энергетическими барьерами мы будем понимать барьеры свободной энергии.

### ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ

Теперь мы подошли к существенному вопросу: как устроены энергетические долины в спиновом стекле? Мы уже знаем, что спиновое стекло обладает огромным числом состояний с энергией, близкой к энергии локального минимума. Исходя из этого, можно предположить три возможных варианта поведения такой системы.

**Вариант первый.** Если все энергетические барьеры, разделяющие локальные минимумы, конечны, то наблюдаемые в экспериментах термодинамические величины будут иметь тот же характер, что в обычном, уже описанном нами парамагнитном состоянии, поскольку среднее (за долгое время) значение спина  $\langle \sigma_i \rangle$  в каждом узле будет равно нулю. Наличие же барьеров конечной величины скажется только на картине движения спинов: они не будут хаотически вращаться, как в высокотемпературной парамагнитной фазе, а будут подолгу задерживаться возле состояний, соответствующих локальным минимумам энергии. Это изменит характерные времена релаксации (достигающие в таких системах часов, а иногда и дней), временные корреляционные функции и т.д.

**Вариант второй.** Может случиться так, что какая-то долина и соответствующее ей спиновое состояние отделено бесконечными барьерами от остальных состояний. Тогда при достаточно низких температурах произойдет фазовый переход, при котором система "замерзнет" в этом состоянии, т.е. спин в каждом узле будет большую часть времени смотреть в какую-то одну сторону, так что средняя величина  $\langle \sigma_i \rangle$  будет отличной от нуля для каждого магнитного атома. Мы, однако, имеем дело с неупорядоченной системой, и эти средние от узла к узлу будут различными как по величине, так и по знаку. По этой причине величина среднего спина, которая отлична от нуля в ферромагнетике

$$m = \frac{1}{N} \sum_i \langle \sigma_i \rangle, \quad (3)$$

останется равной нулю, как и в парамагнетике, однако среднеквадратичное отклонение

$$q = \frac{1}{N} \sum_i \langle \sigma_i^2 \rangle \quad (4)$$

уже будет не равным нулю. Заметим, что при температуре фазового перехода в высокотемпературное парамагнитное состояние величина  $q$  обратится в нуль. Это значит, что  $q$  можно рассматривать как параметр порядка (обычно

его называют параметром Эдвардса-Андерсона<sup>4</sup>). При этом, естественно, все термодинамические характеристики такой системы в низкотемпературном состоянии (в частности, восприимчивость, теплоемкость и т.д.) будут существенно отличаться от парамагнитных. Временные релаксации, разумеется, могут оказаться, как и в первом случае, аномально медленными, так как в той области фазового пространства, где система "замерзла", может оказаться множество метастабильных состояний, разделенных барьерами различной (конечной) высоты.

**Вариант третий,** существенно более сложный. Он осуществляется, если при низких температурах оказывается не одно состояние, в котором система может замерзнуть, а много, точнее, в макроскопической системе - бесконечно много.

Первый случай обычно реализуется в системах с сильными термодинамическими флуктуациями, размывающими энергетические барьеры, например в низкоразмерных системах.

Второй вариант - в принципе, новое явление в физике фазовых переходов в магнитных системах. Тем не менее он представляет собой просто сильно усложненный вариант ферромагнетика. Только в обычном ферромагнетике система "замерзает" в состоянии, в котором все спины "смотрят" в одну сторону, а здесь она "замерзает" в некотором состоянии, определяемом конкретной реализацией матрицы спин-спиновых взаимодействий  $J_{ij}$ . В принципе, можно представить себе, что с помощью некоторого очень хитрого (зависящего от конкретной реализации  $J_{ij}$ ) преобразования в пространстве состояний, можно перевести то состояние, в котором система замерзает, в настоящее упорядоченное. Существующие вокруг этого локального минимума многочисленные метастабильные состояния, разумеется, сильно усложняют картину по сравнению с ферромагнетиком, но качественно ничего не меняют (только релаксации становятся аномально медленными).

В дальнейшем мы будем рассматривать только третий вариант, при котором, как мы увидим, возникает совершенно новый тип термодинамического поведения. Правда, похоже, именно третий сценарий природа чаще всего реализует в повседневной жизни. Об этом говорят эксперименты, которые мы рассмотрим в специальном разделе (их, кстати, проводили на совершенно обычных, а не экзотических случайных магнетиках).

### ФИЗИКА СПИН-СТЕКЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

Рассмотрим, что будет происходить со спиновым стеклом, если начать его охлаждать. Если температура системы  $T$  больше некоторой

<sup>4</sup> Edwards S.F., Anderson P.W. // J.Phys.F. 1975. V.5. P.965.

критической  $T_c$ , то система будет находиться в парамагнитном состоянии. При понижении температуры ниже  $T_c$  происходит фазовый переход, при котором пространство всех состояний системы разделяется не на две, как в ферромагнетике, а на бесконечное количество долин, разделенных бесконечными энергетическими барьерами. Чуть ниже точки перехода в каждой такой долине во всех узлах существуют ненулевые термодинамические средние  $\langle \sigma_i \rangle_{(\alpha)}$ , случайные как по знаку, так и по величине. Здесь  $\langle \dots \rangle_{(\alpha)}$  обозначает термодинамическое усреднение внутри долины номер  $\alpha$  (это среднее в случае нарушения эргодичности оказывается равным среднему по времени). При этом физический параметр порядка, описывающий степень "замерзания" спинов в долине  $\alpha$ , равен

$$q_\alpha = \frac{1}{N} \sum_i \langle \sigma_i \rangle_{(\alpha)}^2. \quad (5)$$

Из-за статистической однородности системы он оказывается во всех долинах одинаковым.

При дальнейшем понижении температуры в каждой из долин образуются новые области, недоступные для системы, т. е. происходит новый фазовый переход нарушения эргодичности: они дробятся на множество новых долин, разделенных бесконечными энергетическими барьерами. При этом состоянии системы в каждой из вновь образованных долин описывается соответствующим параметром порядка  $q_\alpha$ , который при понижении температуры, естественно, увеличивается.

Этот процесс дробления фазового пространства продолжается непрерывно вплоть до нуля температур, и при любой температуре ниже  $T_c$  система находится в точке фазового перехода нарушения эргодичности. Такое поведение не наблюдается ни в одной традиционной упорядоченной системе и, видимо, присуще только сильно фрактрированным системам.

Однако, это еще не все. При любой температуре ниже  $T_c$  внутри каждой из долин, имеющих при этой температуре, существует бесконечно много метастабильных состояний, разделенных между собой конечными барьерами, причем спектр высот этих барьеров простирается от нуля до бесконечности. Это приводит к тому, что за любое конечное время внутри этих долин, строго говоря, никогда не наступает настоящее термодинамическое равновесие. Хотя, с другой стороны, эксперимент показывает, что часть наблюдаемых термодинамических величин (например, теплоемкость) ведет себя так, как будто термодинамическое равновесие существует: они не зависят от времени и воспроизводимы. С другой стороны, существуют наблюдаемые величины, поведение которых явно зависит от времени на любом масштабе времен, доступных современному эксперименту.

Если мы все же отвлечемся от усложнений, связанных с наличием конечных барьеров внутри каждой долины, то можем сказать, что в низкотемпературной фазе спинового стекла возникает что-то вроде иерархической организации спин-стекольных состояний: внутри каждой долины образуются более мелкие долины, внутри каждой мелкой - еще более мелкие и т.д. Длинный процесс дробления пространства состояний можно описать с помощью иерархического дерева (по аналогии с генеалогическим). Каждый горизонтальный срез этого дерева описывает определенное поколение долин, на которые расплоилось пространство состояний системы. Если мы переходим к следующему уровню, т.е. более низкой температуре, то каждая долина данного поколения расщепляется на много долин-потомков, которые в совокупности образуют следующее поколение, и т.д. Процесс заканчивается на некотором уровне, который определяется температурой системы, и конечные точки полученного дерева описывают структуру долин в пространстве состояний спинового стекла. На этом множестве долин можно определить обобщенное "расстояние" между любыми двумя долинами, которое можно задать различными эквивалентными способами. В самом простом варианте оно равно числу поколений до ближайшего общего "предка" этих двух долин.

Такие иерархические системы обладают замечательным свойством. Если взять любые три долины A, B, C и измерить расстояния между любыми парами, AB, AC или BC, то треугольник ABC, образованный ими, будет либо равнобедренным, либо равносторонним. Действительно, в иерархических системах вместо обычного неравенства треугольника  $|AB| < |AC| + |BC|$  справедливо неравенство  $|AB| < \max(|AC|, |BC|)$ . Нетрудно убедиться, что в этом случае либо все три стороны равны между собой, либо две из них равны друг другу. Метрические пространства с такими свойствами называются ультраметрическими. Математикам подобные пространства известны еще с конца прошлого века, а в физике они появились совсем недавно в связи со спиновыми стеклами<sup>5</sup>.

Можно привести аргументы весьма общего характера в пользу того, что подобная структура свободной энергии должна быть распространенным явлением в природе. Допустим, мы имеем систему, которая по самому своему устройству из-за большого числа фрактаций должна содержать макроскопическое число метастабильных состояний (локальных минимумов энергии), и допустим, что к тому же барьеры свободной энергии между ними еще достаточно высоки, так что при понижении температуры происходят фазовые переходы, дробящие фазовое пространство на соответствующие до-

<sup>5</sup> Rammal R., Toulouse G., Virasoro M.A. // Rev.Mod.Phys. 1986. V. 58. P.765.

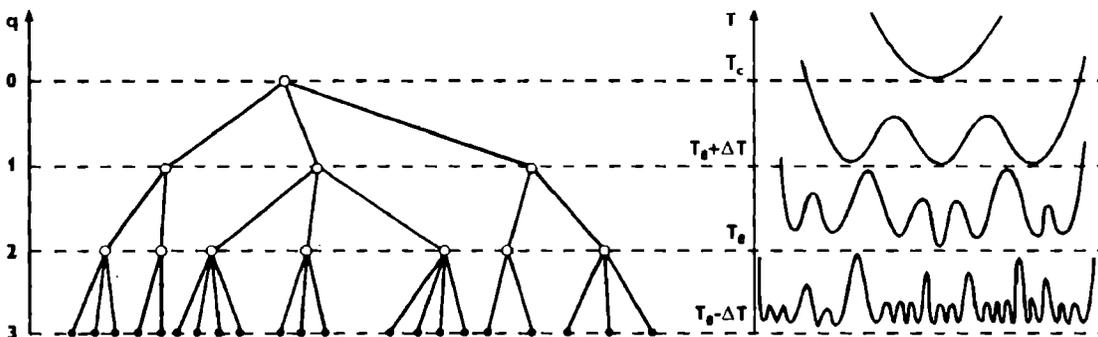


Рис. 2. Иерархическое дерево состояний спинового стекла (левая часть рисунка) и изменение рельефа свободной энергии при понижении температуры:  $q$  - обобщенное расстояние, отсчитанное от одного общего "предка".

лины (рис.2). Именно это является основным предположением, которое может выполняться, а может (как в низкоразмерных системах с сильными флуктуациями) и нет. Тогда наиболее естественным путем "дробления" (факторизации) фазового пространства является тот, который описан выше: сначала факторизуются наиболее удаленные от вершины дерева группы состояний, затем при понижении температуры внутри этих групп происходит факторизация на более мелкие подгруппы и т.д. Это есть не что иное, как процесс случайного ветвления, которое происходит в бесконечномерном пространстве (пространство состояний в пределе  $N \rightarrow \infty$  становится бесконечномерным!). При этом иерархичность возникает автоматически, просто благодаря тому совершенно общему факту, что при случайном ветвлении в бесконечномерном пространстве однажды разошедшиеся ветви потом больше никогда близко друг к другу не подходят, так же, как при случайном блуждании в многомерном пространстве частица никогда не вернется в исходную точку. Так что, возможно, иерархия состояний и ультраметричность являются совершенно общим свойством случайных систем.

### ПАРАМЕТР ПОРЯДКА

Как мы видели, состояние обычного ферромагнетика при температуре ниже  $T_c$  описывается величиной средней намагниченности (или спонтанным магнитным моментом)  $m$  из формулы (3), которая может быть экспериментально измерена. Выше температуры перехода  $m = 0$ . Такую величину, которая отличает одну фазу от другой, обычно называют параметром порядка.

А как нужно определить параметр порядка, который наиболее полно описывал бы физику спин-стеклового состояния? Понятно, что параметр  $q_\alpha$  в формуле (5), определяемый лишь для отдельной долины, не содержит никакой

информации ни о существовании других долин, ни, тем более, об их расположении в фазовом пространстве.

Проведем следующую серию мысленных экспериментов. При заданной температуре ниже  $T_c$ , начиная каждый раз из произвольного и каждый раз нового спинового состояния, будем наблюдать, как система релаксирует к равновесному состоянию. В каждом таком эксперименте мы будем получать некоторые средние значения магнитного момента в узлах  $\langle \sigma_i \rangle_{(\alpha)}$ , где  $\alpha$  обозначает номер эксперимента (а поскольку в каждом таком мысленном эксперименте система "сваливается" в определенную долину, то  $\alpha$  обозначает также и долину). Ввиду того, что состояний (долин), в которых система может "застрять" при релаксации, очень много, значения этих средних намагниченностей в узлах от эксперимента к эксперименту будут отличаться. ("Равновесное состояние" здесь понимается несколько условно, так как настоящее термодинамическое равновесие внутри долин все равно никогда не наступает - просто подразумевается, что намагниченности в узлах - это такие величины, значения которых устанавливаются относительно быстро.)

Проведем бесконечно много таких экспериментов, запишем каждый раз значения средних намагниченностей в узлах. Затем введем величину, которая описывает степень перекрытия (похожесть) состояний в разных экспериментах  $\alpha$  и  $\beta$ :

$$q_{\text{эф}} = \frac{1}{N} \sum_i^N \langle \sigma_i \rangle_{(\alpha)} \langle \sigma_i \rangle_{(\beta)}. \quad (6)$$

Очевидно, максимальное значение  $q_{\alpha\beta}$  достигается, когда состояния в эксперименте  $\alpha$   $\langle \sigma_i \rangle_\alpha$  и в эксперименте  $\beta$   $\langle \sigma_i \rangle_\beta$  совпадают (нельзя быть ни на кого похожим больше, чем на самого себя), и тогда перекрытие (6) совпа-

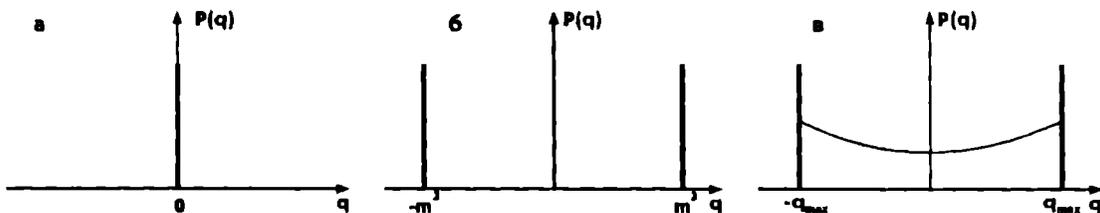


Рис. 3. Плотность вероятностей  $P(q)$  перекрытия различных состояний. а - в парамагнитной фазе: все состояния нескоррелированы; б - в ферромагнитной фазе: система может находиться в двух долинах (все спиры направлены вверх и все спиры - вниз), разделенных бесконечными барьерами; в - в спиновом стекле: непрерывная ветвь функции  $P(q)$  описывает корреляции разных долин;  $q_{\max}$  - самоперекрытие долины.

дает с введенным в предыдущем разделе параметром  $q$  для одной долины (5). Очевидно также, что чем меньше скоррелированы (похожи) между собой состояния, тем меньше значение  $q_{\alpha\beta}$ , а если состояния  $\alpha$  и  $\beta$  никак между собой не скоррелированы, то для них  $q_{\alpha\beta} = 0$  (имеется в виду предел  $N \rightarrow \infty$ ).

В силу статистической однородности системы  $q_{\alpha\beta}$  будет зависеть только от "расстояния" между долинами, в которых система застряла в экспериментах  $\alpha$  и  $\beta$ . В этом смысле  $q_{\alpha\beta}$  может служить мерой удаленности долин  $\alpha$  и  $\beta$  друг от друга.

Теперь, для описания всех возможных перекрытий между всеми существующими при этой температуре состояниями (долинами), удобно ввести функцию распределения значений  $q_{\alpha\beta}$   $P(q)$ , которая равна плотности вероятности того, что в экспериментах  $\alpha$ ,  $\beta$  величина  $q_{\alpha\beta} = q$ .

Возможные типы функции  $P(q)$  показаны на рис.3. В парамагнетике имеется единственное состояние с нулевой намагниченностью в узлах, поэтому  $P(q)$  представляет собой  $\delta$ -образную функцию при  $q = 0$  (рис.3,а). В ферромагнетике ниже  $T_c$  возникают два состояния с магнитным моментом в узлах  $\pm m$ , поэтому  $P(q)$  представляет собой две  $\delta$ -образные функции при  $q = +m^2$  и при  $q = -m^2$  (рис.3,б). В случае, если реализуется, условно говоря, "ненастоящее" спиновое стекло (рассмотренный выше второй вариант), функция  $P(q)$  выглядит точно так же, как в ферромагнетике. Более того, даже если ниже  $T_c$  возникает не два неупорядоченных состояния, а сразу (бесконечно) много, случайным образом (нескоррелированно) расположенных по фазовому объему, но при дальнейшем понижении температуры последующих нарушений эргодичности не происходит (фазовый объем больше не дробится), функция  $P(q)$  все равно будет выглядеть так же, как в ферромагнетике, и лишь добавится лишняя  $\delta$ -образная функция при  $q = 0$ . Это связано с тем, что перекрытия (б) между различными нескоррелированными состояниями равны нулю.

Существенно иначе  $P(q)$  выглядит в том случае, когда мы имеем дело с настоящим спиновым стеклом, т.е. если реализуется описанный выше третий сценарий. И здесь должны наблюдаться всплески плотности вероятности при некоторых максимальных значениях  $q = \pm q_{\max}$  характеризующих "самоперекрытие" (самопохожесть) в каждой долине, так как из-за статистической однородности системы все долины эквивалентны, а их количество макроскопически велико. Но кроме того, в интервале между  $+q_{\max}$  и  $-q_{\max}$  возникает отличная от нуля непрерывная функция  $P(q)$ . Это связано с тем, что в иерархических системах состояния, вырастающие из общего "предка", всегда скоррелированы между собой и имеют отличные от нуля перекрытия  $q_{\alpha\beta}$ , причем "дальние родственники" (более удаленные друг от друга долины) менее похожи (скоррелированы), чем "ближние родственники". Поскольку при  $T < T_c$  по мере уменьшения температуры дробление происходит непрерывно, возникает непрерывный спектр значений  $q_{\alpha\beta}$  и, как следствие, непрерывная ветвь функции  $P(q)$ .

Именно эта функция наиболее полно отражает особенности спин-стекольной фазы (ни одна упорядоченная система не имеет непрерывной ветви функции  $P(q)$ ). Анализ показывает, что функция  $P(q)$  может служить аналогом параметра порядка при фазовом переходе, хотя она и не равна нулю выше температуры перехода. Тот факт, что параметр порядка - функция, есть следствие непрерывно происходящей последовательности фазовых переходов при температуре ниже  $T_c$ .

Более детальное описание физики спинового стекла читатель может найти, например, в обзорах<sup>6</sup> или в книге<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Доценко В.С. Физика спин-стекольного состояния // Успехи физ. наук. 1993. Т.163. Вып.6. С.1; Binder K., Young A.P. Spin Glasses: Experimental Facts, Theoretical Concepts and Open Questions // Rev.Mod.Phys. 1986. V.58. P.801.

<sup>7</sup> Mezard M., Parisi G., Virasoro M. Spin-Glass Theory and Beyond. Singapore, 1987.

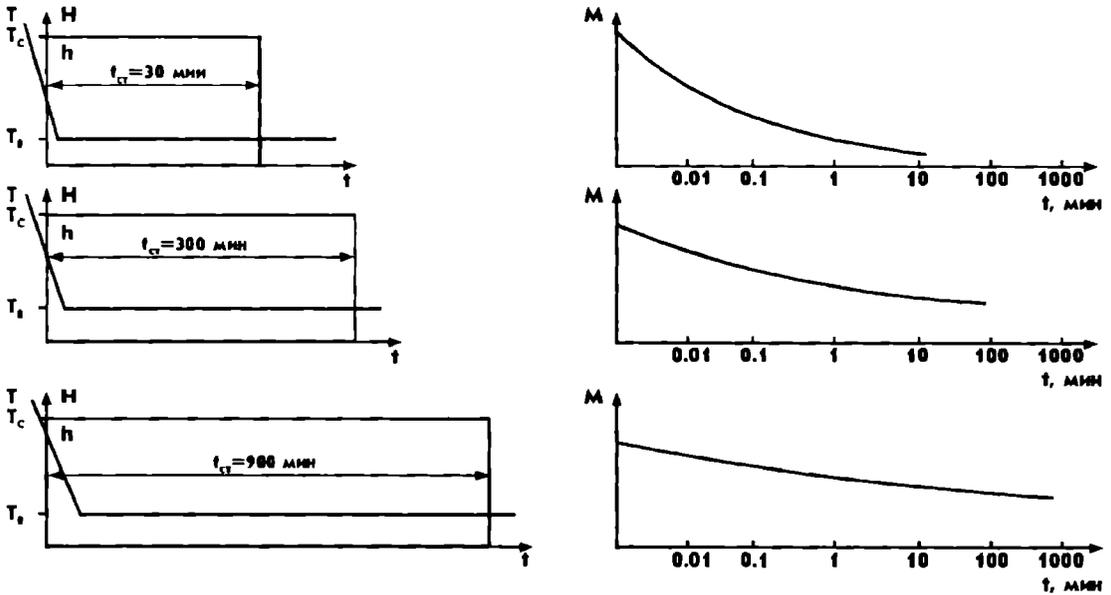


Рис. 4. Эксперимент по старению. Предыстория образцов (слева): охлаждение до температуры  $T_0 < T_c$  в магнитном поле  $h$ , выдержка образцов при этих условиях в течение времени  $t_{ст}$ , выключение магнитного поля. Релаксация магнитного момента со временем при соответствующих  $t_{ст}$  (справа).

#### ЧТО ПОКАЗЫВАЕТ ЭКСПЕРИМЕНТ?

Рассмотрим в заключение результаты последних экспериментов, проводившихся с целью выяснить, насколько справедлива описанная выше общая физическая картина спин-стеклового состояния для реальных спиновых стекол<sup>8</sup>. Понятно, что, как это обычно бывает, те величины и объекты, которые удобны для теоретических построений, обычно совершенно невозможно наблюдать в эксперименте, и требуется особое искусство, чтобы с помощью косвенных измерений суметь убедительно подтвердить (или опровергнуть) общую теоретическую схему.

Большинство экспериментальных результатов были получены на кристаллах  $CdCr_{1.7}In_{0.3}S_4$ . Неупорядоченность в этой системе возникает из-за конкуренции ферромагнитных взаимодействий между ближайшими соседями с антиферромагнитными взаимодействиями следующих за ближайшими соседями. Это спиновое стекло ранее систематически изучалось, и, в частности, для него хорошо установлена температура фазового перехода в спин-стеклообразную фазу  $T_c = 16.7$  К. Некоторые измерения проводились

также и на "классических" металлических спиновых стеклах типа  $AgMn$ , и при этом результаты получались качественно теми же самыми. Таким образом, по-видимому, обнаруженные физические явления не зависят от конкретной реализации спинового стекла.

**СТАРЕНИЕ.** Явление "старения" в спиновых стеклах известно уже довольно давно. К иерархии спин-стекловых состояний оно прямого отношения не имеет, но зато явно демонстрирует отсутствие истинного термодинамического равновесия в спиновых стеклах.

Эксперимент производится следующим образом. Система охлаждается из парамагнитной фазы в спин-стекловое состояние в слабом постоянном магнитном поле  $h$  и затем поддерживается при заданной температуре  $T < T_c$  в этом поле в течение некоторого времени  $t_{ст}$  (рис. 4, слева). Затем магнитное поле выключается, и производится измерение релаксации магнитного момента. Результаты измерений для различных значений  $t_{ст}$  показаны на рис. 4, справа (заметьте, что величина  $t_{ст}$  вполне макроскопическая - это минуты, часы, сутки).

Из этих графиков прежде всего видно, что релаксация является медленной и неэкспоненциальной (чтобы заметно было изменение магнитного момента, время отложено в логарифмическом масштабе). Однако намного важнее то, что релаксация является нестационарной, т.е. изменения, происходящие с системой после выключения магнитного поля, существенным образом зависят от момента выключения.

<sup>8</sup> Lederman M. et al. // Phys.Rev.B. 1991. V.44. P.7403; Vincent E. et al. Slow Dynamics in Spin Glasses and Other Complex systems // Recent progress in random magnets / Ed. D. H. Ryan. World Scientific 1992; Hammann J. et al. Barrier Heights Versus Temperature in Spin Glasses // J.M.M.M. 1992. V. 104-107. P.1617; Lefloch F. et al. Can Aging Phenomena Discriminate Between the Hierarchical and the Droplet model in Spin Glasses? // Europhys. Lett. 1992. V.18. P.647.

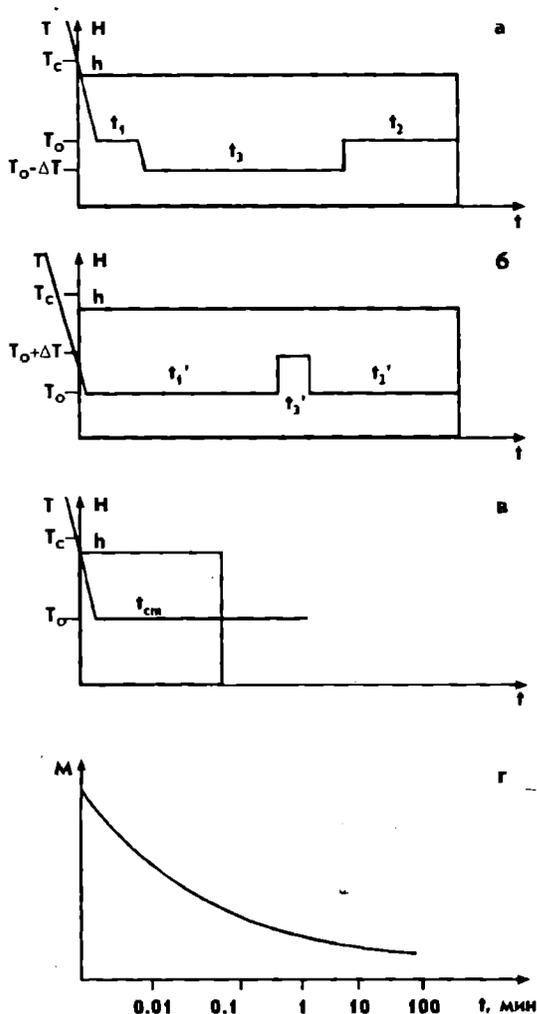


Рис. 5. Эксперименты по термоциклированию. Предыстория: а - термоциклирование с охлаждением (в течение времени  $t_3$  образец выдерживается при пониженной температуре  $T_0 - \Delta T$ ; б - термоциклирование с подогревом (в течение времени  $t'_3$  образец выдерживается при повышенной температуре  $T_0 + \Delta T$ ); в - простое старение; г - единая кривая релаксации магнитного момента для образцов с предысториями а — в:  $t_{ct} = t_1 + t_2 = t'_1 = 30$  мин.

Со временем спиновое стекло становится "тверже": чем больше  $t_{ct}$ , тем медленнее происходит релаксация. Поэтому любой подобный эксперимент зависит от двух временных параметров: времени наблюдения  $t$ , в течение которого производились измерения, и времени, проведенном системой после перехода в спинстекловую фазу до начала эксперимента и называемом временем старения ( $t_{ct}$ ). Важно так-

же подчеркнуть, что ни за какое разумное время эксперимента  $t_{ct}$  не наблюдалось никаких признаков установления термодинамического равновесия, т.е. не было видно тенденции выхода кривых релаксации на какую-то предельную (соответствующую  $t_{ct} = \infty$ ) кривую.

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЦИКЛЫ И ИЕРАРХИЯ СОСТОЯНИЙ.** Рассмотрим два класса экспериментов, которые подтверждают представление о существовании иерархического дерева спинстекловых состояний, и которые, по-видимому, чрезвычайно трудно объяснить каким-либо другим способом.

В первом классе экспериментов образец охлаждается в слабом магнитном поле до температуры  $T_0 < T_c$ . После ожидания в течение некоторого времени  $t_1$  температура понижается до  $T_0 - \Delta T$  (где  $\Delta T$  мало), и при этой температуре образец выдерживается время  $t_3$  (рис.5, а). После этого температура снова поднимается до величины  $T_0$ , при которой образец выдерживается еще время  $t_2$ . Затем магнитное поле выключается, и начинаются измерения релаксации магнитного момента.

Во втором классе экспериментов образец снова охлаждается в слабом магнитном поле до температуры  $T_0 < T_c$ , однако после некоторого ожидания в течение времени  $t'_1$  температура на короткое время  $t'_3$  повышается до  $T_0 + \Delta T$  (где, опять,  $\Delta T$  мало). После этого температура снова понижается до величины  $T_0$ , при которой образец выдерживается еще время  $t'_2$  (рис.5, б). Затем магнитное поле выключается, и начинаются измерения релаксации магнитного момента.

Самым главным результатом первого класса экспериментов является то, что если температурная ступенька  $\Delta T$  не слишком мала, все получаемые релаксационные кривые оказываются идентичными соответствующим кривым релаксации, получаемым в обычных экспериментах старения с  $t_{ct} = t_1 + t_2$  (см. рис. 5, г). Таким образом, начиная с некоторой (малой) величины  $\Delta T$ , все то время, что система проводит при температуре  $T_0 - \Delta T$ , она как бы эффективно остается полностью "замороженной".

В случае экспериментов второго рода, если величина  $\Delta T$  не слишком мала, кривые релаксации оказываются идентичными соответствующим кривым, получаемым при обычном старении (см. рис.5, г), но уже со временем старения  $t_{ct} = t'_2$ . Таким образом, совсем небольшого подогрева достаточно, чтобы разрушилось все то старение, которое было "достигнуто" за все предшествующее время при температуре  $T_0$ , и старение началось с самого начала. (Заметим, что температура  $T_0 + \Delta T$ , до которой подогревается система, все равно остается существенно ниже  $T_c$ .)

Такое асимметричное поведение системы при температурных циклах подогрева и охлаж-

дения хорошо соответствует представлению о существовании иерархического дерева состояний и о непрерывном каскаде фазовых переходов дробления фазового пространства на все более мелкие долины (см. рис. 2) при  $T < T_c$ .

Действительно, процесс старения, или установления термодинамического равновесия, состоит в том, что система со временем преодолевает все более высокие потенциальные барьеры. За время  $t_{ст}$  в занятой системой части фазового пространства уже будут "покорены" ("падут") барьеры, высота которых не больше  $\Delta_{max} - \log t_{ст}$ .

В первом классе экспериментов за время  $t_1$  при температуре  $T_0$  система займет некоторую ограниченную часть пространства состояний. После понижения температуры до  $T_0 - \Delta T$  эта часть фазового объема может раздробиться на несколько долин, разделенных бесконечными барьерами. Соответственно, каждое из занятых ранее состояний раздробится на множество новых, барьеры, разделяющие состояния, станут выше, а некоторые из них будут бесконечно высокими. В течение времени  $t_2$  система распространится в эти вновь образованные состояния, при этом оставаясь запертой бесконечными барьерами в меньшей (чем при температуре  $T_0$ ) области фазового объема. Поэтому за время, проведенное при температуре  $T_0 - \Delta T$ , система может занять лишь те состояния, которые являются "потомками" уже занимаемых ею при более высокой температуре  $T_0$ . Подчеркнем, что все это и есть фазовый переход при температуре  $T_0 - \Delta T$ . Затем после повышения температуры опять до величины  $T_0$  все эти состояния-"потомки" превращаются в своих "предков" (уничтожив, таким образом, все то, что было "достигнуто" при температуре  $T_0 - \Delta T$ ), и процесс заполнения фазового объема при температуре  $T_0$  будет продолжаться, как будто промежутка времени, который система провела при температуре  $T_0 - \Delta T$  ( $t_2$ ), и не существовало.

Во втором классе экспериментов состояния, занятые за время  $t'_1$  при температуре  $T_0$ , после повышения температуры до  $T_0 + \Delta T$  будут превращаться в существенно меньшее число своих "предков". Если при этом  $\Delta T$  не слишком мало, то все старение, которое было достигнуто за время  $t'_1$ , при температуре  $T_0 + \Delta T$  будет полностью уничтожено, ибо все состояния, которые система заняла за время  $t'_1$ , сольются в одного общего предка (для этой части фазового объема это выглядит так, как-будто произошел фазовый переход в парамагнитное состояние). Поэтому после понижения температуры снова до  $T_0$  процесс старения начнется сначала.

В упрощенном виде описанные выше эксперименты могут быть резюмированы следу-

ющим образом. После охлаждения системы в спин-стекольную фазу до температуры  $T_0 < T_c$  и выдерживания вблизи этой температуры в течение длительного времени слабый короткий подогрев "стирает" все накопленное ранее старение, а при любом дополнительном охлаждении на то время, в течение которого система была заморожена, процесс старения при этой температуре приостанавливается.

Рассмотренные эксперименты приводят к следующему выводу. Существование эффекта старения при всех температурах ниже  $T_c$  во всем диапазоне наблюдаемых времен означает существование непрерывного спектра высот барьеров и, соответственно, существование барьеров бесконечной высоты при любой температуре  $T_0 < T_c$ . Именно это явление приводит к непрерывному процессу дробления фазового пространства на все более мелкие долины (т.е. непрерывной цепи фазовых переходов нарушения эргодичности) при понижении температуры ниже  $T_c$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В значительной мере цель настоящей работы - популяризация совершенно новой физики, возникающей в неупорядоченных системах. В этой области за последние 15 лет уже обнаружено так много замечательных и красивых явлений (полученных как теоретически, так и экспериментально), что сейчас стала вырисовываться довольно цельная и эстетически очень привлекательная общая картина, известная, к сожалению, лишь узкому кругу специалистов. Для многих физиков, занимавшихся проблемой спиновых стекол, состояние дел в этой области продолжает оставаться безнадежной путаницей из тысяч разноречивых экспериментов (проведенных на сотнях разных образцов) и десятков сомнительных теорий, ни одна из которых не имеет отношения к эксперименту. Даже для тех, кто примерно знает, как формулируются представления о физике спин-стекольного состояния, она продолжает оставаться результатом некоей потусторонней магии, не имеющей сколько-нибудь веских оснований в "реальном" мире теоретической физики.

В этой статье мы попытались обрисовать имеющееся на сегодня понимание проблемы спиновых стекол. Мы хотим подчеркнуть, что она отнюдь не решена, а лишь правильно поставлена, т.е. появилось качественное понимание происходящих в спиновых стеклах процессов. Кроме того, эта проблема оказалась общей для целого ряда систем (от биологических до экономических), и теперь впору искать и коллекционировать структуры, не являющиеся спиновыми стеклами.

Социология

## Что американец знает о науке!

Американский музей естественной истории в Нью-Йорке заказал известной социологической организации «Льюс Харрис» опрос с целью выявить представления «просто-го гражданина» о естественнонаучных и общественно-научных материях.

Опрос проводился по телефону и охватил 1255 взрослых респондентов. Круг этих людей представлял собой репрезентативную выборку, соответствующую по полу, возрасту, образованию и другим параметрам общему составу населения США, согласно его последней переписи.

Анализ результатов показал, что «публика, — по словам директора этого музея E. Fetter, — имеет о науке весьма отрывочные сведения, иногда сопровождаемые идиосинкразией».

Большинство опрошенных слышало, например, о дрейфе континентов, однако лишь половина знала, что динозавры вымерли до появления на Земле человека.

Мнения сильно зависели от формулировки вопроса. Например, 82 % опрошенных были обеспокоены массовым исчезновением на Земле растительных и животных видов; но когда тот же по смыслу вопрос звучал иначе: «Тревожит ли вас падение биологического разнообразия?» — положительно ответили лишь 49 %.

Странным кажется и такой факт: около 62 % согласились с утверждением ученых, что человек близок родственному человекуобразным обезьянам, однако в том, что люди произошли от более древних, чем они сами, существ, убеждены всего 44 %.

Влияние средств массовой информации на общественное сознание сказалось, например, в следующем: почти 30 % опрошенных считают ныне величайшей угрозой человеческому существованию СПИД и всего 15 % — термоядерную войну,

а 18 % — перенаселенность Земли; загрязнение окружающей среды называют основной опасностью 36 % респондентов. Science. 1994. V. 264. N 5161. P. 902 (США).

Организация науки

## Наука в бюджете США

Расходная часть бюджета США на 1995 г., проект которого был направлен в конгресс США, составляет 1.52 трлн. долл. По большинству статей предусматривается снижение ассигнований по сравнению с предыдущим годом, зато расходы на научно-исследовательскую и конструкторскую деятельность повышаются на 2 млрд. долл. (Если учесть инфляцию, это фактически все же означает уменьшение, но лишь на 0.2 %.)

Существенно возрастут расходы, связанные с планом создания «Информационного шоссе», на который правительство запросило 1.2 млрд. долл., что составляет 20 %-ную прибавку. План предусматривает разработку более совершенных ЭВМ, предназначенных для прогнозирования погоды и создания новых лекарственных средств.

На 21 % увеличиваются ассигнования на Программу исследования глобальных изменений, в которой участвуют 12 федеральных ведомств, — они получают 1.8 млрд. долл. Это позволит расширить исследования по проблеме глобального потепления климата и связанных с ним аспектов среды обитания человека.

На создание совместной российско-американской космической станции должно быть истрачено столько же, сколько в предшествующем, 1993 бюджетном году — 2.1 млрд. долл. Межведомственному биологическому проекту «Геном человека» выделено 42 млн. долл., т. е. на 18 % больше, чем ранее. Среди медицинских тем приоритет отдается борьбе с заболеваниями раком и СПИДом, а затем — с туберкулезом.

На 24 % уменьшаются средства, выделяемые на элект-

роэнергетические нужды, связанные с горючими видами топлива, и на 30.8 % — на атомную энергетику. Зато деятельность, направленную на энергосбережение и создание систем получения энергии от возобновляемых ее источников, обеспечат 1.36 млрд. долл., что составит рост ассигнований примерно на 30 %.

Важное значение придается проблемам обработки и захоронения ядерных отходов. Гражданским ведомствам на эти нужды выделяется на 152.2 млн. долл. (37 %) больше, чем в 1994 г. Значительная часть этой прибавки пойдет целевым назначением — на изучение геологических условий в районе горы Юкка в штате Невада, где предполагается создать крупное хранилище отработанного ядерного топлива.

Впервые с 1973 г. урежаются средства, ассигнуемые НАСА: сокращение составит 250 млн. долл. В наибольшей степени (8.8 % от 6.1 млрд. долл. — уровня 1993 г.) сокращаются расходы на пилотируемые полеты в космос; отменяются планы создания усовершенствованного двигателя на твердом топливе, предназначенного для запуска кораблей многоразового использования типа «Шаттл»; откладывается разработка второго поколения таких кораблей.

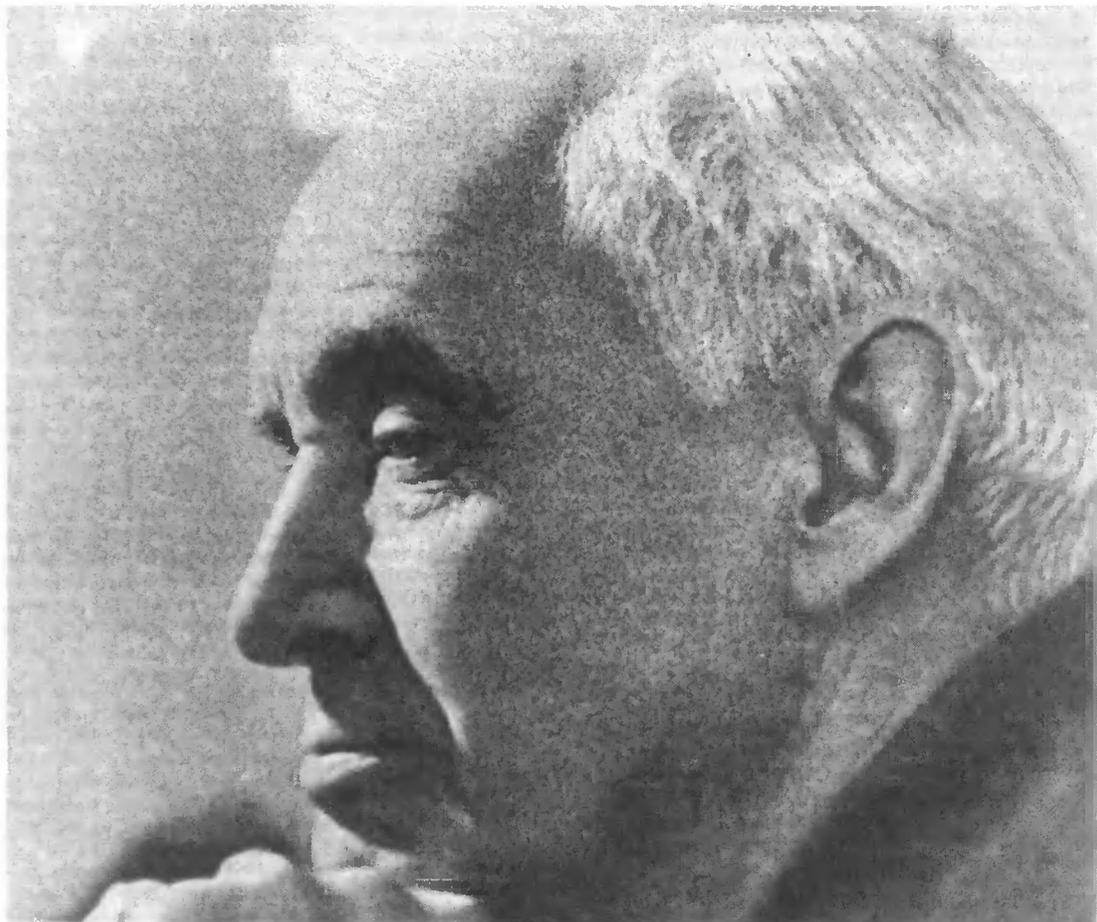
Законопроект предусматривает средства на развитие программы «Марс-Сервейор»: 78 млн. долл. ассигнуется на запуск в 1996 г. небольшого орбитального аппарата к Марсу. Значительную финансовую поддержку (17.9 % сверх нынешних 1.02 млрд. долл., отпущенных в 1993 г.) получает и проект «Миссия к планете Земля»; его цель — изучение со спутников глобального состояния природной среды.

На 21 % возрастет финансирование американской части международных экологических проектов и достигнет 2.2 млрд. долл.

Бюджет Управления по охране природной среды увеличивается до 7.2 млрд. долл., что составляет природот около 5 % по сравнению с 1994 г. Science News. 1994. V. 145. N 7. P. 103 (США).

## «...СО ЗНАНЬЕМ НЕСКАЗАННЫХ ОЧЕРТАНИЙ, КАК С ФАКЕЛОМ, ПРОЙТИ»

К 100-летию со дня рождения В. А. Энгельгардта



**ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ЭНГЕЛЬГАРТ**  
(4.XI) [21.XI] 1894 — 10.VII 1984).

Писать сегодня о таком человеке, как Владимир Александрович Энгельгардт, достаточно трудно. Прошло всего 10 лет, как он ушел из жизни, но кажется, что все уже написано, архивы разобраны и переданы в Архив РАН, сотрудники созданного им Института молекулярной биологии каждый год проводят Энгельгардтовские чтения, уже выпущены две книги (труды самого Энгельгардта и книга о нем — воспоминания ученых, друзей, соратников и учеников), где достаточно полно представлены жизнь и творчество выдающегося ученого. И все же мы надеемся, что собранные нами материалы дадут представление о человеке, сыгравшем огромную роль в развитии отечественной биологии. Для нашего журнала Владимир Александрович был не только крупнейшим биохимиком-экспериментатором, обладающим необыкновенной научной интуицией и огромным организаторским талантом, но и членом нашей редколлегии и всегда желанным автором. И не случайно для заголовка подборки мы выбрали строки из стихотворения А. А. Блока. По словам А. В. Энгельгардта, это стихотворение любимого поэта еще в юности привело ее отца в науку, и он пронес факел знания через всю свою долгую жизнь.

# ФЕНОМЕН ЭНГЕЛЬГАРДТА

Л. Л. Киселев,

член-корреспондент РАН

Москва

**В**ЛАДИМИРУ АЛЕКСАНДРОВИЧУ ЭНГЕЛЬГАРДТУ принадлежит особое место в истории отечественной биологии не только потому, что он автор не одного, а сразу нескольких открытий нобелевского ранга в области биохимии, не только потому, что он сыграл выдающуюся роль в организации исследований в области молекулярной биологии, не только потому, что он — создатель школы биохимиков и молекулярных биологов, среди которых — плеяда известных ученых, работающих в современной науке.

Особое место Энгельгардта, на мой взгляд, определено тем, что его личность была многомерна, масштабна, парадоксальна и уникальна. Владимир Александрович удивительным и трудно объяснимым образом сочетал дар естествоиспытателя-экспериментатора с глубиной философа и мыслителя. Он сочетал европейскую образованность (свободно владел основными европейскими языками, знал русскую, английскую, французскую и итальянскую литературу досконально, в деталях) с истинно русской интеллигентностью, с блестящими организаторскими способностями (создал институт, журнал «Молекулярная биология», Совет по молекулярной биологии, международную программу исследований «Обратная транскриптаза» — «Ревертаза») и даром популяризатора новых направлений в науке.

Непреходящей заслугой В. А. Энгельгардта в истории науки стала его последовательная, бескомпромиссная, упорная и смелая борьба с лысенковским мракобесием, с преследованием ученых за их убеждения. Энгельгардт обладал редкой в наше время способностью к самопожертвованию: он пожертвовал своей безупречной репутацией ради сохранения Института молекулярной биологии — итога всей его жизни.

Владимир Александрович не был мунументом, иконой, рыцарем без страха и упрека, он был живой человек со всеми присущими человеку высокими и менее высокими стремлениями: иногда ошибался в людях, принимал врагов за друзей, а истинным друзьям отказывал в доверии, мог быть несправедливо суров в одних случаях и неоп-

равданно мягок — в других, однако всегда, при всех обстоятельствах своего жестокого и трудного времени служил науке и людям науки, вкладывал в это весь свой интеллект, всю страсть своей души, все свои энциклопедические знания и все свои недюжинные способности. Таким он остался для нас навсегда.

Судьба была благосклонна к Энгельгардту: он прожил долгую жизнь, был счастлив в браке и дружбе с женщиной редкой красоты и ума, Милицей Николаевной Любимовой-Энгельгардт, любил своих дочерей, не провел лучшие годы своей жизни в тюрьмах и ссылках, как это случилось с большинством его современников, его не выгоняли с работы, как лучших российских генетиков, и выпускали из страны за рубеж даже тогда, когда за «железный занавес» прорывались единицы. Эту благосклонность судьбы Владимир Александрович оправдал сторицей, сделав в науке и в жизни столько, сколько хватило бы на добрую дюжину талантливых и трудолюбивых людей.

Гармония личности Энгельгардта необычайно привлекала к нему людей и когда он общался с ними на школах по молекулярной биологии в Дубне, и когда с рюкзаком и ледорубом штурмовал Эльбрус, и когда готовил свою любимую яичницу с помидорами, и когда переводил Ф. И. Тютчева на английский, и когда фотографировал снег в горах и итальянские соборы, и когда сам печатал на машинке, и когда наслаждался горьким шоколадом, и когда долго и тщательно выбирал галстук к элегантному костюму.

Владимир Александрович среди многих своих умений и качеств имел способность необычайно открыто и весело смеяться — долго, до слез, вытирая глаза платком и продолжая дальше, вовлекая в свою радость всех окружающих. Его чувство юмора и самоирония неудержимо к нему располагали и делали общение с ним светлым и желанным.

Среди многих качеств, которыми природа наградила Владимира Александровича, отсутствовало одно очень распространенное — зависть, его способность радоваться чужим успехам была редкой и, я бы сказал, непривычной для нашей академической среды. Я же рискую вызвать к себе это чувство, сказав, что я имел честь разделять радость работы с Энгельгардтом четверть века.

## Жизнь и наука\*

В. А. Энгельгардт

**Я** РОДИЛСЯ в 1894 г. в Москве, не в моем родительском доме, а в акушерском отделении Московского центрального института акушерства, где временно работал мой отец. Через два месяца я был перевезен в Ярославль, областной город на Волге, где находился наш отчий дом. Здесь я провел свое детство и школьные годы, так что Ярославль я рассматриваю как свою подлинную родину. Как если бы у меня были какие-то гены, привязывающие меня к медицине, я небольшое время провел в медицинском окружении. Мой дед с материнской стороны был главным хирургом и директором местной ярославской больницы. Мой отец возглавлял отделение акушерства и гинекологии этой же больницы. По окончании средней школы я поступил на медицинский факультет Московского университета,<sup>1</sup> который закончил со степенью врача, и два года служил в качестве врача военной части Красной Армии. Мое первое научное поприще — это Биохимический институт Народного Комиссариата здравоохранения, мое профессорское звание связано с кафедрой биохимии Медицинского института Казанского университета (ныне Казанский медицинский институт), и мой первый академический титул — это звание действительного члена Академии медицинских наук СССР. Но, оглядываясь назад на свой жизненный путь, я не могу припомнить ни одного случая, когда бы я излечил кого-нибудь от какой-либо болезни.

Может быть, первые признаки склонности к научной профессии проявились у меня еще в очень раннем возрасте. Еще в начальной школе мои одноклассники, как все ребята на свете, любили награждать своих собратьев прозвищами. Меня они удостоили титула «Володя-ученый». Вероятно, это объ-

яснялось моей страстью возиться со всякими немудреными приборами вроде электрических звонков или незамысловатых игрушек. Я даже вспоминаю свое первое «изобретение». Это была стеклянная трубочка с бузиным шариком внутри и двумя проволоками по концам. Я объявил своим одноклассникам, что это не что иное, как «хитроскоп»; его назначение состояло в том, чтобы, коснувшись тела проводками, наблюдать за высотой подъема бузинового шарика. Едва ли нужно объяснять, что поднятие шарика вызывалось незаметным натиранием стеклянной трубки шелковым платком, в которой была завернута трубка. Таким образом, мою научную карьеру приходится считать начавшейся с некоторой фальсификации, чтобы не сказать шарлатанства. Я надеюсь, что моя последующая деятельность дала некоторые основания к исправлению этой мало лестной квалификации.

Другая «знаменательная» точка моей научной карьеры относится к области химии, которой я заинтересовался в старших классах школы. Как всякого начинающего химика меня особенно привлекало оперирование взрывчатыми материалами. Излюбленным объектом был йодистый азот. В сухом виде он взрывается при легчайшем прикосновении. Я помню, что принес в класс этот препарат во влажном состоянии, но на свою беду уронил проклятое вещество на пол около кафедры учителя, на которой восседал преподаватель закона божьего. К концу урока ученик, читавший заключительную молитву, наступил ногой на кусочек йодистого азота, который взорвался с изрядным шумом, не причинив никакого вреда.

Это было время, когда очень популярны были покушения на жизнь царей и лиц царствующего дома. Преподаватель закона божьего, соскочив с кафедры, помчался к кабинету директора с криком: «На мою жизнь совершили покушение!» Потребовались усилия родителей, чтобы избежать моего исключения из училища. Однако у меня не оказалось пятерки за поведение в дипломе об окончании, который нужно было

\* Сокращенный вариант английского оригинала, опубликованного в журнале «Annual Review of Biochemistry» (1982. V. 51. P. 1—19). Подготовлено О. О. Астаховой.

<sup>1</sup> Здесь произошла встреча с Л. А. Зильбером; дружба между однокурсниками сохранилась на всю жизнь. — Прим. ред.



Отец — Александр Владимирович Энгельгардт.

предъявить в Политехнический институт в Петербурге, где я хотел изучать электротехнику. Это было немалым ударом по моему самолюбию, так как я не прошел конкурса. Быть может, неудачи на химическом поприще способствовали тому, что мои интересы были направлены в сторону изучения электрических явлений. Еще будучи в школе, без каких-либо содействий со стороны преподавателей, я уже сумел сконструировать ряд электрических приборов. У меня был полный комплект самодельной радиоаппаратуры с передатчиком и приемником, при помощи которой я передавал сигналы через несколько стен, разграничивавших комнаты нашей квартиры, к немалому изумлению моих родителей. У меня был трансформатор Тесла, высокочастотный зеркальный гальванометр и т. д. Я даже опубликовал в популярном журнале маленькую заметку о замене обычного вибрационного прерывателя небольшой румкорфовой катушки на миниатюрный ртутный прерыватель, который вдвое повышал производительность прибора. Такова была моя первая научная публикация!

Потерпев неудачу с поступлением в Политехнический институт, я поступил на мате-

матический факультет Московского университета, рассчитывая, что хорошие познания в математике будут мне полезны для продолжения образования в качестве инженера. В школе я считался довольно хорошим, способным учеником по математике, но достаточно было нескольких месяцев университетской учебы, чтобы рассеять эту иллюзию. Я оказался абсолютно неспособным воспринимать утонченные принципы высшей математики, излагавшейся выдающимся ученым профессором Н. Н. Лузиным.

После совершенно бесплодно проведенного семестра я начал слушать курсы по химии и даже сдал один экзамен, но потом мои наклонности снова претерпели перемену и я окончательно сосредоточил свои усилия и интересы, работая на медицинском факультете. Я уделял мало внимания слушанию теоретических курсов или проведению практических занятий, но затрачивал все свое время, работая в биохимических лабораториях при нескольких кафедрах. Каким образом мне удалось получить медицинский диплом, остается до сих пор загадкой для меня. Может быть, тут решающую роль сыграли две увлекательные книги, с которыми мне порекомендовал ознакомиться выдающийся биолог профессор Н. К. Кольцов, блестящие лекции которого мне не забылись до сих пор. Это были книги Фишера «Отек» и «Нефрит». Я не только изучал в лаборатории процессы поглощения воды срезами тканей, но, кроме того, во время летних каникул, работая в качестве волонтера в небольшой ярославской больнице, попытался приложить мои скромные познания для лечения почечных заболеваний. К сожалению, результаты были не слишком благоприятными для пациентов, и мне было строго-настрого запрещено продолжать свои опыты на пациентах в больнице.

Дома электрическая аппаратура постепенно оказалась замененной самодельной термостатом, нагревавшимся керосиновой лампой, а опасные взрывчатые вещества — безобидными пробирками с простейшими микроорганизмами или взвесью дрожжей. Мне удалось установить ошибку, которую я обнаружил в высказанных Н. К. Кольцовым взглядах на природу влияния рН на фагоцитоз одноклеточными организмами. Наблюдаемый эффект заключался в изменении скорости поглощения частичек туши. Мне удалось показать, что ответственным за наблюдавшиеся явления был электрический заряд частичек туши, а не поведение микроорганизмов. Когда я воспроизвел свои опыты в лаборатории Кольцова и изложил ему мое толкование, он был восхищен и сказал мне,



Ярославская губернская мужская гимназия, которую В. А. Энгельгардт окончил в 1913 г.

что мое поведение соответствует правильному пути в истолковании экспериментальных результатов — не считать себя связанным расхождением своих взглядов с таковыми, высказанными авторитетами.

Гражданская война терзала страну. Первое социалистическое государство противостояло в одиночестве, лишенное каких-либо поступлений извне, приверженцам разрушенного царского режима и так называемых «белых» сил, пользовавшихся поддержкой многих западных стран. Это была борьба идей против военной силы, и в конечном счете победу одержали идеи.

Немедленно после окончания университета я был призван на военную службу и провел два года на Южном фронте в качестве начальника полевого госпиталя кавалерийской дивизии. Я проделал путь от Дона до Крыма и закончил его на Кавказе после изгнания оттуда английских оккупационных сил.

В эти годы война велась в такой же мере против сыпного тифа, как и против военных сил, это была «война против вшей», и медицинский персонал был среди первых жертв в этой неравной борьбе. Было чистой случайностью или чудом, что я избежал преждевременной кончины. Я перенес тяжелую инфекцию в самых неблагоприятных условиях — лежа на носилках в коридоре неотопливаемого вагона во время отступления перед наступающими белоказацкими силами. Верному другу я обязан тем, что сохранил свою жизнь. Он, не жалея сил, расходовал камфарное масло для поддержа-

ния моей жизни на протяжении почти двух недель бессознательного состояния. Через месяц после выздоровления я уже снова был на работе, приобретаю, к своему счастью, требуемый иммунитет.

В 1921 г. гражданская война практически закончилась. Я был демобилизован, вернулся в Москву, и с этого времени началась моя научная деятельность.

По, счастливому стечению обстоятельств я был принят в только что организованный Биохимический институт Наркомздрава. Не знаю, быть может, здесь сыграло известную роль благоприятное отношение ко мне Н. К. Кольцова, который в это время был директором расположенного по соседству Института экспериментальной биологии. Главой нашего института был профессор Алексей Николаевич Бах, выдающийся химик и видная политическая фигура. Он был хорошо известен исследованиями по ферментативным механизмам биологического окисления, где центральная роль приписывалась образованию перекисей в качестве первого важнейшего этапа. Правилom поведения Баха даже по отношению к совсем молодым начинающим сотрудникам было «не водить за руку» путем ежедневного инструктажа, а прежде всего обеспечивать общим руководством, указывая главное направление, которого надлежало придерживаться.

Бах предложил мне заняться изучением иммунных антиферментов, в частности антифенолаз. Один пункт из руководящих указаний Баха я запомнил на всю свою последующую жизнь. После того как я по-



**VIII класс гимназии. В. А. Энгельгардт — в последнем ряду четвертый справа.**

**Футбольная команда Ярославской гимназии. В центре с мячом — В. А. Энгельгардт.**





На Южном фронте. Слева направо: В. А. Энгельгардт, Ю. П. Челюкова, [1] Дарыбина, А. Я. Закевич-Корнилова, Н. А. Корнилов. 1919 г.

рядочно поработал по изучению антител против ферментов, я однажды сказал Баху, что у меня родилась теория, объясняющая явление иммунитета. Что он подумал об этом? «Дорогой мой дружок,— сказал он мне,— если бы мне платили за выдумывание теорий, я мог бы сидеть всю жизнь и выдумывать одну лучше другой, но хорошие теории приходят от хороших фактов. Ты лучше побольше стой за своим рабочим столом, за рабочим столом, дружок».

Я никогда не имел регулярного обучения в области биохимии и родственных вопросов. В этом отношении по своему научному воспитанию и по исследованиям я имел основания рассматривать себя как своего рода самоучку, не уделявшего никакого времени традиционному общепринятому обучению. Разумеется, на меня немалое влияние оказали труды ученых старшего поколения, но только как результат более или менее разрозненных контактов, а не путем систематической учебы. Точнее сказать, был только один краткий период, когда после нескольких лет работы в Биохимическом институте

я около двух месяцев провел в 1927 г. в лаборатории Петера Рона, в больнице «Шарите» в Берлине, но здесь атмосфера снова была чрезвычайно либеральной. Каждый мог выбрать задачу, над которой он предпочитал бы трудиться. Сам Рона всегда был готов оказать содействие, но никогда не устанавливалось строго намеченной программы. Его лекции были великолепными, тщательно подготовленными и сопровождались впечатляющими экспериментами. Здесь я познакомился со своеобразным германским способом выражения восхищения при каких-нибудь особенно сложных и удачно проведенных лекционных опытах: одобрение выражалось дружным топотом ног. Мне это показало своеобразным видом аплодисментов посредством нижних конечностей, поскольку верхние были заняты писанием заметок или рисованием схем приборов. Лаборатория Рона имела мировую известность. Я даже вспоминаю шутливое сокращение FRS, что истолковывалось как начальные буквы слов «прежний ученик Рона» (Fruhere Rona's Schüler).

Эта лаборатория была своего рода подлинным питомником, из которого появилось немало выдающихся исследователей. Для многих из них это было путем в райскую область научного поиска — тот или иной из институтов Общества кайзера Вильгельма. Немало лауреатов Нобелевской премии было среди работавших в этой лаборатории. Можно назвать Фрица Липмана, Ханса Кребса, Макса Перутца, Э. Б. Чейна. В этой лаборатории имелась возможность установить знакомство со многими незаурядными учеными широкого профиля. С большим удовольствием я вспоминаю, как работал за одним лабораторным столом с Давидом Нахманзоном, этажом выше Ханс Вебер работал над мышечными белками; Рона помог мне посетить Биологический институт Общества кайзера Вильгельма, где я встретил Карла Нейберга, Отто Варбурга, Карла Ломана и Отто Мейергофа. Некоторые из этих контактов, хотя они и были вначале очень мимолетными, выросли в дальнейшем в длившуюся всю жизнь привязанность.

Работа над антиферментами не принесла сколько-нибудь существенных результатов с точки зрения новых воззрений на природу ферментов или механизм их действия, но эти исследования привели к обнаружению факта, быть может, не чрезмерно существенного самого по себе, но который тем не менее содержал элементы более широкого значения. Я имею в виду то, что я позднее обозначил как принцип «фиксированного партнера». Исходной точкой этих наблюдений



Среди друзей. Второй слева — В. А. Энгельгардт. 1920 г.

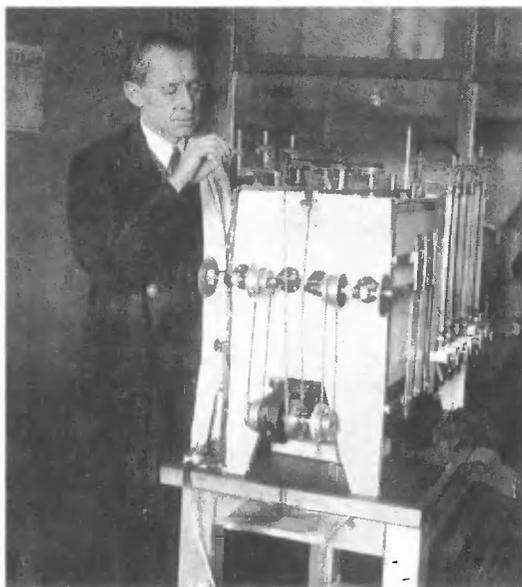
ний было обнаружение того, что иммунные антитела могут проявлять свое взаимодействие с антигеном даже в том случае, если они переведены из раствора в гетерогенное состояние, в адсорбированную форму на каком-нибудь подходящем носителе вроде каолина или гидроокиси-алюминия. Использование этого принципа позволило обнаружить антигенные свойства гемоглобина. При обычных условиях иммунизация этим белком не вела к образованию антител, которые проявлялись бы в осаждении гемоглобина или изменении его способности связывать кислород. Но если сыворотка иммунизированного гемоглобином животного была адсорбирована на коллоидальном носителе, то эта суспензия проявляла замечательную способность связывать гемоглобин и удалять его из раствора. Аналогичное явление наблюдалось в опытах с инвертазой дрожжей. В то время как другие ферменты, такие, как оксидазы, вызывали образование антител, которые угнетали ферментативную активность, казалось, что инвертаза лишена антигенных свойств, но и в этом случае если сыворотка иммунизированного животного применялась в виде адсорбата, т. е. в фиксированном состоянии, то после центрифугирования наблюдалось полное удаление фермента из раствора. Нетрудно было убедиться в том, что в этом связанном состоянии после реакции с «фиксированным» партне-

ром фермент сохранял свое исходное каталитическое действие. Эти опыты можно было рассматривать как предшественники ныне столь популярного применения «иммобилизованных ферментов» или других биологически активных веществ.

Эксперименты в области иммунитета хотя и были привлекательны сами по себе, но, казалось бы, приводили к своего рода тупику. Мои научные интересы переместились в область изучения биологических процессов, в которых участвовала фосфорная кислота. Она как раз к этому времени приобрела характер центрального по своей значимости объекта. Ее участие в анаэробном углеводном обмене вызывало всевозрастающий интерес в результате фундаментальных исследований Г. Эмбдена, К. Ломана, О. Мейергофа и Я. О. Парнаса, последовавших за совершившими подлинный прорыв замечательными открытиями, принадлежащими Гардену и Ионгу<sup>2</sup>.

В 1929 г. я принял приглашение Казанского университета занять кафедру биохимии. Лабораторию пришлось организовать совершенно заново, так как в ней не было даже самого скромного набора простейшего применявшегося в то время оборудования.

<sup>2</sup> См.: Ленинджер А. Биохимия. М., 1976. С. 366.



За работой. Институт биохимии им. А. Н. Баха. 1936 г.

Все, чем я располагал для моей личной работы после длившихся целый год усилий, — это убогое воспроизведение респирометра Варбурга, сконструированного в скромной университетской мастерской, и простейший вид колориметра, так называемого аутористовского с оптическим клином, лишь позднее замененного небольшой моделью колориметра Дюбоска. Но лекционный курс отнимал относительно мало времени, и у меня было много досуга, чтобы вести работу за лабораторным столом и предаваться своим размышлениям.

Результаты были в немалой мере утешительны: было обнаружено, что дыхание клеток может повлечь за собой синтез АТФ. В тот период было хорошо известно, что АТФ синтезируется в процессе неокислительного распада глюкозы, протекающего по путям брожения или гликолиза. (...)

Можно считать счастливой случайностью, что для своих исследований, касавшихся возможного участия АТФ в дыхательных процессах, мне удалось выбрать особенно благоприятный объект. Таким объектом оказались содержащие ядро эритроциты птиц. (...)

Мои опыты дали возможность получить по меньшей мере приближенную оцен-

ку эффективности процесса, что может выражаться отношением Р/О. Эта величина была найдена нами равной приблизительно 1,0, т. е. того же порядка, который позднее был установлен для ряда других случаев. С открытием окислительного фосфорилирования АТФ оказалась в биоэнергетике на уровне решающего звена и ее значение резко возросло. (...) Стало общепринятым рассматривать АТФ как некую разменную единицу, в форме которой энергия, освобождаемая при брожении и дыхании, становится доступной для использования во всех физиологических функциях. Накопленная химическая энергия освобождается под действием соответствующего фермента, аденозинтрифосфатазы (АТФазы).

Мы имеем основания усматривать у процессов клеточного дыхания двоякую роль. Совершенно очевидно, что главным является окислительное фосфорилирование — это мощный генератор макроэргических фосфатных связей, которые служат непосредственным источником химической энергии для всех физиологических функций. Вторая роль находит свое выражение в так называемом пастеровском эффекте. Им управляется взаимодействие между дыхательным и анаэробным (гликолитическим) механизмами обмена веществ. При аэробных условиях расточительный ферментативный путь распада углеводов оказывается подавленным. Так, через посредство пастеровского эффекта как бы решается судьба гексозной молекулы — пойдут ли ее превращения по дыхательному или по ферментативному пути.

Надо считать естественным, что эта проблема, в то время едва затрагивавшаяся, привлекала мое настойчивое внимание — я имею в виду пастеровский эффект. Наиболее правдоподобным объяснением механизма этого явления было допущение, что подавление брожения в эробных условиях обусловлено окислительным инактивированием каким-либо из механизмов, участвующих в энзиматической деятельности брожения и гликолиза. Ведущей идеей нашего подхода, который был принят в сотрудничестве с моим молодым сотрудником Николаем Саковым, было стремление исследовать чувствительность по отношению к окислению со стороны различных ферментов, которые принимают участие на первых этапах анаэробного распада глюкозы. (...)

Н. Саков был, вероятно, наиболее блестящим из моих учеников. У него был



В Институте биохимии им. А. Н. Баха после лекции А. Сент-Дьёрдьи, которую переводил В. А. Энгельгардт. В первом ряду справа — В. А. Энгельгардт, вторая — М. Н. Любимова, третий — А. Сент-Дьёрдьи. 1941 г.

ясный ум и способности отличного экспериментатора. Судьба его была трагична. Работа по вопросу о пастеровском эффекте имела предельно огорчительный конец. Соответствующие опыты были закончены весной 1941 г. Разразилась война, Саков вскоре был призван на военную службу. Моя семья и я сам были эвакуированы из Москвы в Среднюю Азию, во Фрунзе. Мне удалось захватить с собой лабораторные протоколы и тетради, и я ожидал сведений о судьбе Сакова. Они пришли спустя долгое время и были более горькими, чем хотелось ожидать: Саков погиб на полях боев под Сталинградом. Его работа была опубликована посмертно. Мы не имели возможности послать ее в зарубежный журнал, она появилась только в журнале «Биохимия» в 1943 г.<sup>3</sup>, оставшись практически

совершенно малоизвестной. Единственным откликом были несколько строк, в которых эта работа упоминалась в статье Дина Берка в «Трудах ежегодного отчета лаборатории в Колд Спринг Харборе».

Истолкование, которое мы дали пастеровскому эффекту, было «заново открыто» спустя ровно 20 лет в работе Дж. Пасоно и О. Лоури, появившейся под заглавием «Фосфофруктокиназа и пастеровский эффект». <...>

Годы шли за годами, и обязанности, не относящиеся к исследовательской работе — организационного, административного и общественного характера, — накапливались. Управление человеческими делами, даже и близкими к науке, отнимало все больше и больше времени, что не могло компенсироваться большими сроками, проводимыми за рабочим столом, как это было моей постоянной привычкой прежде. Во всех исследованиях, о которых говорилось выше, я принимал активное личное участие, можно сказать, «собственными руками».

Я обязан А. Хиллу тем, что он ввел меня

<sup>3</sup> Биохимия. 1943. Т. 8. С. 9—36.

в область увлекательного, но требующего немалого времени участия в научных и общественных делах. В бытность его президентом Международного совета научных союзов (МСНС) я был привлечен в качестве члена бюро этого совета, а затем стал и вице-президентом. Это дало мне увлекательные возможности встречаться и часто устанавливать тесные дружеские отношения с большим числом ученых, которые были представлены в этой интернациональной организации. С большой признательностью я вспоминаю годы, когда я работал в МСНС. После Хилла пост президента был занят Рудольфом Питерсом, и воспоминания о его личном очаровании сопровождают меня все мои годы. Он мастерски умел сохранять отличную атмосферу на заседаниях в бюро МСНС, несмотря на возникавшие порой острые противоречия. Я живо вспоминаю столкновение точек зрения между мною и Л. Беркнером (США), когда я решительно выступил с возражением против его намерений сделать МСНС зависимым от «большой промышленности», как это представляли себе различные американские тресты и организации. Для меня было большим удовлетворением, когда моя точка зрения была принята членами бюро и подлинно международный независимый характер МСНС был поддержан всеми членами нашей организа-

ции. Мудрое руководство Питерса принесло неоценимую пользу для плодотворного дружеского сотрудничества, которым всегда отличалась наша работа.

С должной мерой скромности я могу приписать себе известное влияние моих усилий, когда речь шла на протяжении ряда лет о принятии Германской Демократической Республики в члены МСНС. Противодействие было преимущественно молчаливым, но упорным, и мои усилия потребовали немало времени. Приходится заключить, что я неожиданно проявил дипломатические способности, и так или иначе желаемый результат был достигнут к моему большому удовлетворению. Это было первым случаем, когда ГДР, член социалистического содружества наций, стала членом международной организации, обладающей большим весом.

Моя экспериментальная работа почти полностью приостановилась, когда Академией наук СССР мне была доверена должность академика-секретаря по биологическим наукам. В течение ряда лет я выполнял мои обязанности как только умел. Но не знаю, оправдал ли я вполне ожидания.

Большое удовлетворение принесло мне назначение меня директором нового, созданного в 1959 г. Института молекулярной биологии АН СССР. Кабинет дирек-



Снога к вершинам. В. А. Энгельгардт и М. Н. Любимова в горах Кавказа (слева) и на Южном Тянь-Шане. В первом ряду третья справа — М. Н. Любимова, пятый — В. А. Энгельгардт.

тора и письменный стол заменили мне мое лабораторное окружение. Я стремился и стремлюсь оставаться на уровне ведущихся исследований молодых и более зрелых сотрудников института, стараюсь обеспечить им все условия для наиболее полноценного выполнения их научных исследований, а также обеспечить атмосферу сотрудничества и взаимного уважения.

Организация Института молекулярной биологии отмечала собою поворотный пункт в развитии физико-химической биологии в нашей стране. Это был первый центр такого рода в то время. Нам удалось привлечь ряд способных химиков; биологов нам было легче привлечь, а физики еще уступали в числе, но всемерно стремились внести свой посильный вклад. Целью, к которой я стремился, было иметь равное соотношение представителей различных специальностей в составе научного коллектива института. Нам пришлось начинать практически с нулевого уровня. Но мы не могли жаловаться на отсутствие энтузиазма и признательностью ценили щедрую поддержку Академии наук СССР. Институт организовал публикацию обширной серии монографий по наиболее важным вопросам молекулярной биологии. Было большим удовлетворением для меня и счастливым

обстоятельством для института, что немалое число отличных исследователей среднего и более молодого возраста вошло в состав нашего содружества уже на ранних стадиях существования института. В особенности плодотворно было содружество с моими прежними учениками, такими, как А. А. Баев и А. Е. Браунштейн. Они были моими молодыми соратниками в давно прошедшие годы и теперь проявили себя прочной основой института. Мы обязаны Баеву и его группе первым выдающимся успехом в области изучения нуклеиновых кислот. Это состояло в раскрытии полной первичной структуры валиновой тРНК дрожжей. Продолжая свою работу в институте в области генетической инженерии, А. А. Баев уделил существенное внимание международной научной организации, будучи в течение ряда лет президентом Международного биохимического союза. (...)

Удовлетворяя своему стремлению не порывать связи с конкретной наукой, я содействовал организации специального проекта, известного под наименованием «Реввертаза», задачей которого было развертывание более обширных исследований в отношении фермента, осуществляющего важную реакцию обратной транскрипции. Этот проект послужил координации и развертыванию работ в ряде исследовательских центров Москвы, Киева, Новосибирска, Риги



в СССР, а также в ГДР и Чехословакии. Как средство распространения новых линий развития науки ежегодно устраиваются школы, которые привлекают большое количество научной молодежи.

Обычно в биографических литературных материалах, даже блее коротких, типа анкет, уделяется известное место и вопросу о любимых увлечениях. Я мог бы упомянуть только одно — горовосхождение. Большею частью я предпринимал экскурсии в горы в сопровождении моей жены. Мы посетили Центральный Кавказ, затем последовали ледники Памира, а потом горные хребты Тянь-Шаня на границе с Китаем. В моей памяти и сейчас ясно стоит тот день, когда вместе с участвовавшей в нашей поездке швейцарской альпинисткой Эллой Майяр мы стояли наверху горного хребта, отделяющего Советский Союз от Китая. А перед нами расстилась подернутая туманом пустыня Такла-Макан. В горах завязываются особенно прочные дружеские отношения. Я был счастлив, что смог навестить Эллу Майяр в ее горной хижине в кантоне Валэй,

когда я участвовал в научном симпозиуме, проходившем в соседнем ущелье того же кантона. Велика была радость нашей встречи после многих лет разлуки! (...)

Недавно мои друзья, кинематографисты, снимавшие фильм «Повесть о Фаусте», в котором я принимал участие, спросили меня на своем профессиональном языке: что бы я сделал, если бы я смог прокрутить фильм моей жизни заново, много ли я изменил бы? Я ответил, что судьба была ко мне благожелательна, и я не имею никаких претензий к тому сценарию, который она мне уделила. Единственно только я пожелал бы продлить жизнь моей матери, которая погибла в юном возрасте от уличного несчастья. А в остальном я не имею претензий, и фильм мог бы быть прокручен в том же порядке.

Мне всегда вспоминаются прекрасные строки нашего крупнейшего поэта-лирика Тютчева:

Счастлив, кто посетил сей мир  
В его минуты роковые,  
Его призвали всеблагие  
Как собеседника на пир.

## Иерархии и взаимодействие в биологических системах\*

В. А. Энгельгардт

Господин Президент, дамы и господа!

Я хочу выразить свою признательность Академии искусств и наук за любезное приглашение сделать здесь этот доклад. Мне очень приятно и почетно иметь возможность впервые присутствовать на очередном собрании Академии, членом которой я имею честь быть уже более десяти лет<sup>1</sup>, и принять активное участие в работе этого собрания.

Принцип иерархичности является одной из категорий, занимающих в настоящее время важное место в научной мысли при

подходе к вопросам Природы. Я ограничусь лишь живым миром, в котором иерархические взаимоотношения особенно заметны и представляют один из важных предметов изучения современной теоретической биологии.

Людвиг фон Берталанфи<sup>2</sup> считает, что «иерархичность в живой природе тесно смыкается с проблемами дифференцировки, открытых систем и с неэнтропийными тенденциями»<sup>3</sup>. Это основная концепция современной экспериментальной биологии. С максимальным лаконизмом выражает свою точку зрения Пауль Вейсс, озаглавливая один из

\* Из архива Института молекулярной биологии РАН. Аналогичный текст был опубликован на немецком языке. См.: *Studia biophysica*. 1972. Bd. 33. N. 2. S. 53—72.

<sup>1</sup> Почетным членом Американской академии наук и искусств В. А. Энгельгардт был избран в 1961 г. (Здесь и далее — прим. ред.)

<sup>2</sup> Людвиг фон Берталанфи (1901—1972), австрийский биолог-теоретик, автор первой современной общей теории систем (1968).

<sup>3</sup> Bertalanffy L. von. Chance or law // *Beyond reductionism*. London, 1969. P. 58.



В. А. Энгельгардт. 40-е годы.

разделов своей статьи «Иерархии как биологическая необходимость»; он указывает, что «принцип иерархичности в живой природе выступает как впечатляющий факт, какое бы философское содержание мы ни вкладывали в это понятие»<sup>4</sup>.

Гробштейн в книге «Стратегия жизни» рассматривает как «характерное свойство жизни наличие иерархии структур и механизма функционального контроля. Этот принцип иерархичности проявляется на всех уровнях, начиная с атомного и молекулярного, где расстояния весьма малы, вплоть до взаимоотношений внутри человеческого общества, где расстояния колоссальны, и приводит к образованию высокоорганизованных структур»<sup>5</sup>.

По вопросу, который я намереваюсь обсудить, существует множество концепций, которые часто синонимичны или взаимоперекрываемы, тесно взаимосвязаны, что

создает трудности при попытке четко очертить определенные границы. К числу таких концепций принадлежат такие понятия, как часть и целостность, иерархии, интеграция, порядок, система, класс, ряд, организация и т. д. Вероятно, было бы желательно установить иерархию этих концепций. Но я надеюсь, что меня простят, если я постараюсь избежать вторжения в эти семантические дебри. Я буду использовать эти термины более свободно, рассчитывая на то, что это не заслонит основного смысла.

С другой стороны, мне хочется подчеркнуть, что я буду обсуждать условия, преобладающие в области, наиболее мне близкой, а именно, на более низких уровнях организации, на молекулярном уровне и уровнях, примыкающих к нему.

Иерархии в биологических системах могут быть двух видов — структурные и функциональные. Но эти различия следует принимать с некоторой оговоркой, так как совершенно ясно, что в поведении биологических объектов структура и функция идут, как правило, рука об руку, и подчас едва отличимы одна от другой. Исходя из этого, я остановлюсь главным образом на функциональном аспекте.

Иерархии, очевидно, принадлежат к понятию систем. Каждая иерархия является системой, построенной из ряда составляющих ее частей, которые находятся в определенных, строго фиксированных взаимоотношениях между собой и все вместе обладают чертами интегрированного целого.

Я вспоминаю, что недавно я где-то встретился с утверждением, что слово «система» стало настолько банальным, что звучит почти неприлично. Можно ожидать, что такая же участь угрожает словам «порядок» или «иерархия», так как их едва ли можно рассматривать независимо. Несмотря на эту опасность, по-видимому, необходимо уделить им определенное внимание, хотя бы очень кратко.

Поскольку иерархии принадлежат к категории систем, самоочевидно, что они должны найти свое место в рамках теории систем. Но Берталандфи говорил, что среди множества систем, все еще недоступных математической обработке, одной из наиболее важных, несомненно, является система, основанная на иерархическом порядке. Призная свою полную неосведомленность в этой области, я ограничусь этим коротким замечанием.

Уоррен Уивер, один из основателей теории информации, говорил, что вплоть до последнего времени наука в основном интересовалась феноменами линейной

<sup>4</sup> Weiss P. The living system: Determinism stratified // Ibid. P. 13.

<sup>5</sup> Grobstein C. The strategy of life. San Francisco — London, 1965.

обусловленности — причина и эффект, задачи с двумя переменными, стимул и ответ и т. д.<sup>6</sup> Несколько позже возникла проблема неорганизованных сложностей, которые в принципе можно разрешить, используя методы статистики. Но в настоящее время мы со все возрастающим интересом обращаемся к вопросам об упорядоченных комплексах на всех уровнях иерархической структуры Вселенной.

Я где-то слышал, что ситуация может быть сформулирована следующим образом: изучение Природы началось с упорядоченной простоты в классической механике, продолжилось в неупорядоченной множественности в статической механике и в настоящее время имеет дело с упорядоченной множественностью, и в первую очередь в области биологии.

Чем более высока структурная степень системы, тем более рельефными становятся «нелинейные эффекты», и это в первую очередь справедливо для биологических иерархий. Появляются новые свойства, которые нельзя вывести логически или предсказать как прямое следствие свойств отдельных компонентов, когда эти последние рассматриваются по отдельности.

Уже стало обыкновением сравнивать иерархии с набором русских игрушек «матрешек» или с китайскими ящичками. Но в этом сравнении содержится лишь структурный аспект иерархии и не затрагивается функциональный элемент, однако именно последний представляет первостепенную важность.

Функциональный аспект состоит в том, что более высокие члены иерархии наделяют иерархическое целое новыми свойствами по отношению к низшим членам, причем этими свойствами они не обладают, когда существуют изолированно, единично, независимо. Именно суммой этих вновь приобретенных свойств, возникающих как проявление целого, и определяются свойства последнего. Если можно использовать телеологическое выражение, приобретение этих новых свойств является целью построения иерархии. Таким образом, конечное целое приобретает способность выполнять определенные, ранее не существовавшие функции, и среди них свойство служить этапом в образовании следующей, более высокой иерархической сущности.

Образованию иерархий часто приписывают основное значение для всей биологии. Например, Паттз выражает точку зрения,

что «если существует теория общей биологии, то она должна объяснить образование и механизм действия иерархий, которые вынуждают материю выполнять когерентные функции»<sup>7</sup>. Это утверждение придает рельефность роли регуляторных эффектов, которые представляют исключительную важность в биологических системах иерархии.

Важность понятия иерархического контроля специально подчеркивалась Паттз в докладе на втором симпозиуме по теоретической биологии в Беладжо. Несомненно, есть веские причины, по которым можно рассматривать биологическую иерархию прежде всего как иерархию контроля эффектов. Как утверждает Паттз, «теоретическая биология выдвигает эту проблему (иерархической организации) в качестве основной, так как иерархический контроль является существенной и отличительной чертой жизни».

Иерархии в области общественных отношений, для которых прототипом является феодальное общество, состоящее из королей, принцев, баронов, рыцарей, именов, крестьян, горожан, основываются в первую очередь на таких факторах, как сила, право, власть, господство. Все они носят односторонний характер и направлены исключительно сверху вниз. Поэтому понятие иерархии характеризуется элементом господства. В противоположность этому в биологических системах это господство абсолютно лишь в некоторых случаях, в том смысле, что оно направлено исключительно односторонне, с верхнего уровня на нижний. В подавляющем большинстве случаев элемент доминирования тесно сочетается с элементом контроля. Однако хорошо известно, что механизм контроля, особенно биологического, преимущественно основывается на принципе обратной связи. Обратная связь обеспечивает возможность саморегуляции, которая типична для всех феноменов жизни.

Эту точку зрения можно лучше всего проиллюстрировать простым примером — трехмерной структурой молекулы белка. Очевидно, пространственная конфигурация представляет более высокую степень упорядоченности, чем свободно движущаяся нитевидная форма полипептидной цепи аминокислот. Хорошо известно, что так называемая третичная (пространственная) структура молекулы белка, точно запрограммированный и жестко закрепленный способ сворачивания полипептидной цепи, строго

<sup>6</sup> Weaver W. Science and complexity // Amer. Science. 1948. V. 36. P. 536.

<sup>7</sup> Patte H. The problem of biological hierarchy // Towards a theoretical biology. Chicago, 1970.

определен первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислотных остатков. Образование третичной структуры сопровождается исчезновением некоторых свойств свободной полипептидной цепи — свободной подвижности, восприимчивости к воздействию ферментов и т. д. Низшие члены иерархической структуры жертвуют некоторыми своими свойствами, но взамен становятся частью более высокой иерархической упорядоченности, приобретают новые, более важные свойства, такие как каталитическая функция, регуляторные свойства, возможность образовывать новые комплексы более высокого порядка организации.

Конечно, трехмерная структура не может изменить последовательность аминокислот внутри первичной структуры. Но специфическое сворачивание полипептидной цепи приводит к изменению реакционной способности отдельных связей, различные, часто находящиеся на значительном расстоянии друг от друга части цепи становятся тесно соседствующими, что дает им возможность реагировать с определенными партнерами, например с субстратами фермента. Более высокая форма организации, таким образом, придает более низким членам иерархии, в нашем случае аминокислотным остаткам, новые функции, определяя таким образом определенную форму контроля. Но давайте рассмотрим некоторые свойства белка, обладающего каталитическими функциями, т. е. фермента: во-первых, зависимость его активности от рН, или концентрации ионов водорода, и, во-вторых, так называемую аллостерическую восприимчивость, т. е. влияние веществ с низким молекулярным весом. Начальный этап в первом случае заключается в изменении степени ионизации, во втором — состоит в связывании того или иного вещества с определенными аминокислотами, что сопровождается сдвигом распределения электронов и конформационными изменениями. Конечным эффектом является изменение каталитической активности, которая определяется трехмерной структурой. В этих случаях член низшей иерархической ступени влияет на свойства высших членов иерархии, которые являются частью этого целого. Это представляется необходимым условием двухстороннего характера взаимоотношений между частью и целым, типичным для биологических иерархий.

Роберт Олби говорит нам, что пришло время, когда «молекулярная биология трактуется слишком узко, но труба зовет в путь — к законам иерархии». Я думаю, что я внес свою лепту в дело, к которому

зовет нас Олби, и сейчас ограничусь лишь одним частным аспектом, а именно, вопросом образования иерархий, условий их происхождения, иначе говоря, онтогенезом иерархий.

Есть достаточно причин полагать, что это происходит путем интеграции по крайней мере на самых низших уровнях, которых мы здесь касаемся. В предисловии к новому изданию замечательной книги Джозефа Нидхэма «Порядок и жизнь»<sup>8</sup> автор создал выразительный термин — «интегративные иерархии». Аналогичные мысли развивались этим же автором в другой книге «Время — освежающая река»<sup>9</sup>. Освежающий бег времени отбросил множество несущественных и неоднозначных фактов. Но, по утверждению Нидхэма, время лишь усиливало глубину их основ и эвристическое значение.

Иерархия и интеграция стоят по отношению одна к другой как причина и эффект и тесно взаимосвязаны. Иерархии являются продуктом интеграции, ее выходом. Интеграция, по крайней мере на уровне основания биологической организации, которую я здесь рассматриваю, является предпосылкой, движущей силой иерархий. Поэтому для более полного понимания природы, свойств и законов, управляющих особенностями иерархий, знание механизмов и условий интеграции является обязательным. В принципе, изучение процессов интеграции можно рассматривать как противоположность редукционизма, направления, преобладающего в современных биологических исследованиях. Большие успехи, достигнутые редукционизмом, слишком хорошо известны, чтобы нужно было их перечислять. Генетический код, механизм биосинтеза белка, регуляция активности ферментов являются наиболее известными достижениями этого подхода. По существу, редукционизм означает путь от более сложных к более простым объектам. Комплекс раскладывается на части, которые и становятся объектами изучения.

Главное возражение, выдвигаемое против редукционистского подхода, основывается на стародавнем утверждении о том, что целое представляет нечто большее, чем сумма частей этого целого. Вескость этого утверждения не подлежит сомнению, и мы обсудим его в некоторых деталях позже. Следствием этого утверждения является мысль о том, что адекватное понимание природы целого не может быть

<sup>8</sup> Needham J. Order and life. Vale, 1936.

<sup>9</sup> Needham J. Time: The refreshing river. London, 1943.

получено из знания свойств частей этого целого. Поэтому принципы, которые провозглашены редукционизмом, объявляются ошибочными и их усилия тщетными.

Несколько лет назад в Альпбахе в Австрии состоялся организованный Артуром Кестлером<sup>10</sup> симпозиум. Труды этого симпозиума вышли под общим заголовком «По ту сторону редукционизма». Этот том содержит прекрасную подборку замечательных статей и оживленных дискуссий, но, закрыв книгу, читатель остается разочарованным, потому что не находит четкого ответа на вопрос: что лежит по ту сторону редукционизма? В обзорной статье один из ведущих участников симпозиума В. Торпе отмечает, что путь разрешения основных биологических проблем — не что иное, как «подход снизу», т. е., очевидно, с уровня, достигнутого редукционизмом, а в конечном счете — с молекулярного уровня.

Редукционизм, столь же великий, сколь велики его достижения, заключает в своем названии лишь одно направление исследований, устремленное к низведению объектов изучения до возможно более простых форм, до наиболее низкого из достижимых уровней сложности. Но с накоплением знаний о свойствах частей, которые были получены при расчленении существующих целостностей на их составляющие, естественно возникает желание понять, каким образом происходит в природе противоположный процесс — образование целого из отдельных, единичных частей. Другими словами, как эти части становятся интегральными компонентами целого, какие силы ответственны за интеграцию. Последовательные стадии интеграции приводят к развитию «интегративных иерархий», которые постулированы Нидхэмом, и представляют собой восходящие ступени на лестнице постоянно увеличивающейся структурной и функциональной сложности и гетерогенности.

Более глубокое изучение природы и механизмов процессов интеграции является очень важной областью, которая еще не пользуется заслуженным вниманием. Для данного направления исследований может быть предложено название «интегратизм». Его характерная особенность состоит в преодолении односторонности редукционизма, в концентрации внимания на процессах, ведущих от простого к более слож-

ному, от примитивного к более совершенной организации. В этом смысле интегратизм может рассматриваться как дополнение к редукционизму. Последний обеспечивает исходный пункт для первого. Единственно правильный путь — начать изучение интеграции, оперируя объектами на молекулярном уровне. Здесь факторы интеграции будут проявляться в более осязаемой форме, доступной для детального изучения. Полученная таким образом информация будет служить основой для продолжения исследований на более высоком уровне сложности.

Несколько замечаний о взаимоотношениях между целым и его частями необходимы для дальнейшей дискуссии по поводу феноменов интеграции. Очень ценная мысль содержится в словах Эддингтона<sup>11</sup>: «Зная все о том, что такое «один», и зная, что «один и один» составляют «два», мы еще не знаем всего о том, что такое «два», ибо тут добавляется еще какое-то «И» и надо знать, что этот элемент «И» вносит с собою»<sup>12</sup>. Поиски именно этого «И» можно рассматривать как основу для понимания природы интеграции. Различие между целым и суммой его частей состоит в том, что части в целом соединены вместе и расположены в определенном порядке. Должны существовать силы, соединяющие части вместе, которые действуют между частями и образуют систему связей. Без системы связей целое существовать не может, оно немедленно было бы обречено на распад. Можно сказать, что целое является суммой частей плюс система связей, которая образуется между частями. Эта система связей является магической добавкой, которая, будучи выброшенной из суммы частей, делает эту сумму меньше, чем целое. Для низведения целого до суммы его частей надо разорвать систему связей, она перестает существовать, и ее отсутствие в сумме частей объясняет ее отличие от целого.

Очевидно, в этом процессе редукции целого до ее частей нужно проявлять осторожность для того, чтобы разрушить лишь связи, действующие между частями, и не затрагивать структуру самих частей. В этом случае вместо редукции будет иметь место

<sup>10</sup> Артур Кестлер (1905—1983), английский писатель и философ, известный своими работами по философии и биологии.

<sup>11</sup> Артур Эддингтон (1882—1944), английский астрофизик, иностранный член АН СССР с 1923 г.; работы по теории внутреннего строения и эволюции звезд, теории относительности и релятивистской космологии.

<sup>12</sup> E d d i n g t o n A. The Nature of Physics. University of Michigan Press, 1958.

деструкция. Упорядоченность и силы — вот два фактора, благодаря которым целое выходит за пределы смеси частей этого целого. Взятые вместе, эти два фактора представляют собой «И» афоризма Эддингтона. Природа порядка определена взаимодействием частей. Поэтому порядок в определенной степени подчинен фактору «сил» и зависит от их пространственного распределения и специфических свойств. Порядок может быть установлен только под действием сил, тогда как силы сами по себе не зависят от наличия порядка.

Главенствующая роль в установлении связей между частями биологического целого принадлежит силам слабых межмолекулярных взаимодействий. Ковалентные связи, за небольшим исключением, участвуют практически лишь на самой ранней, начальной стадии, когда мономеры интегрируются в структуру макромолекул. Слабые силы взаимодействия являются по природе электростатическими и характеризуются низкой энергией. Они распадаются на несколько групп: водородные связи, ионные, перенос заряда, дипольные, гидрофобные взаимодействия, дисперсионные силы и др. Некоторые из них имеют физическую основу связей Ван-дер-Ваальса. Этими силами создается сложная сеть связей внутри целого между его частями. Свойства целого полностью отличаются от свойств, которыми обладали его части до того, как они были интегрированы в сущность более высокой степени сложности.

Цитата из Гёте показывает, как высокая мысль великого поэта, который глубоко интересовался изучением Природы, стала гениальным предвестием проникновения в сущность взаимоотношений целого и его частей:

Во всем подслушать жизнь стремясь,  
Спешат явленья обездуть,  
Забыв, что если в них нарушить  
Одушевляющую связь,  
То больше нечего и слушать.

(Перевод Б. Пастернака)

Несомненно, что в то время, когда были написаны эти строки, природе отсутствующих связей придавался духовный элемент, тогда как части были в руках естествоиспытателя.

Сущность интеграции новой части — это образование системы связей под влиянием взаимодействия с другими компонентами целого. Для того чтобы интегрироваться, часть, которая должна быть включена

на во вновь образующееся целое, должна обладать определенным набором сил, которые дают ей возможность взаимодействовать с остальным целым и войти в соответствующую систему связей. Эти силы должны быть определенного вида и соответствующим образом локализоваться в пространстве. В своей специфической целостности они образуют то, что может быть названо интегративной информацией, которую несет в себе часть.

Можно отчетливо подразделить интеграцию на два вида. Эти виды можно обозначить как развивающийся и прогрессивный соответственно. Первый вид представлен многочисленными типами того, что обычно называют процессом самосборки. Целое спонтанно образуется из полного комплекта всех его частей. Эта смесь компонентов в большинстве случаев получается в результате разрушения ранее существовавшего целого на составные части. Затем следует выделение отдельных компонентов, а далее — их соединение в необходимых относительных количествах. Название «развивающийся» предложено потому, что в данном случае порядок возникает из исходного беспорядка. Этот тип интеграции обычно преобладает на более низких уровнях организации. Он направляется исключительно интегративной информацией, содержащейся в частях. Примеры развивающейся интеграции многочисленны и часто имеют большое значение: образование сложных белковых молекул из субъединиц; самосборка вирусов и фагов; реконструкция рибосом; это тот тип интеграции, который и изучается в основном в настоящее время.

Другой вид интеграции — прогрессивного типа — состоит во включении новых компонентов в ранее существовавшее целое. Компоненты, которые должны быть интегрированы, не обязательно должны быть простыми, элементарными объектами. Напротив, в большинстве случаев они сами по себе представляют целостность с определенной степенью сложности. Таким образом устанавливаются интегративные иерархии, на которые указывал Нидхэм.

Субординация последовательных членов таких иерархий, согласно метафоре Кестлера, подобна Янусу: они имеют два лица, смотрящие в противоположные стороны. Лицо, обращенное к нижним уровням, является автономным целым, лицо, обращенное вверх, — это лик зависимой части. Для сущности более низких уровней, которые должны стать под влиянием интеграции частью целого следующей, более высокой

степени организации, Ф. Жакобом<sup>13</sup> было предложено название «интегрон»<sup>14</sup>.

При всех различиях, которые имеют эти два вида интеграции, у них есть одно общее основное свойство. В обоих случаях движущей силой является одно и то же, а именно тенденция к минимуму свободной энергии. Интеграция к такому бы то ни было типа всегда влечет за собой увеличение степени упорядоченности. В случае развивающейся интеграции порядок возникает из беспорядка; прогрессивная интеграция идет от порядка более низкого уровня сложности к порядку большей сложности. Большая упорядоченность означает снижение энтропии. Много лет назад Шредингер<sup>15</sup> постулировал, что живые организмы вскармливываются на отрицательной энтропии<sup>16</sup>, и Андре Львов<sup>17</sup> в последней своей книге снова напоминает о воззрении, что порядок (который эквивалентен неэнтропии) представляет собой горячее, от которого зависит поддержание жизни<sup>18</sup>. Может показаться, что возникает противоречие со Вторым законом [термодинамики], но это абсолютно иллюзорно. Выигрыш в уменьшении свободной энергии, которая стремится к минимуму, во много раз больше, чем усиление неэнтропии в результате увеличения упорядоченности.

Как мы видели, основой построения иерархий является интеграция, основой интеграции — интегративная информация, а основой последней — не что иное, как межмолекулярные силы слабого взаимодействия. В заключение мне хотелось бы сделать несколько замечаний по двум последним пунктам — относительно слабых сил, с одной стороны, и роли информации — с другой.

Но для того, чтобы оперировать кон-

кретными фактами, а не абстрактными утверждениями, я хочу сначала привести два примера функционирования интегративной информации. В обоих случаях мы имеем дело с «развивающимся» типом, с эффектами самосборки. Один пример взят из работ нашего института, где был разработан метод разрезанных молекул. Молекулы транспортных нуклеиновых кислот химически разрезают на части и получают половинки, а затем четверти, а иногда и более мелкие части. Как и следовало ожидать, разрушение структуры молекулы немедленно приводит к полной утрате ее специфических свойств. Но абсолютно неожиданным оказался тот факт, что если в подходящих условиях соединить изолированные, неактивные части, эти последние «самособираются» в пространстве и дают нужную исходную форму — конечно, без образования разорванных главновалентных химических связей, но удерживаются вместе слабыми силами интегративной информации. Часто продукт самосборки проявляет исходную биологическую активность, иногда вплоть до 100%. Молекулы можно не только рассекать, но даже ампутировать и отрезать небольшие части, и все же такие чудовища, изувеченные молекулярные частицы, способны ассоциировать с образованием функционально активных частиц. Это случай интегративной информации на инфра- или субмолекулярном уровне. Эта работа была выполнена А. А. Баяевым и его сотрудником А. Д. Мирзабековым<sup>19</sup>.

Другой пример находитесь на противоположном полюсе биологической сложности — на супрамолекулярном уровне. Я имею в виду работу Номуры<sup>20</sup> и его сотрудников по самосборке рибосом из смеси их частей. Число частей колоссально: крупные молекулы нуклеиновой кислоты и несколько десятков различных специфических белков. Они образуют сложную, строго определенную структуру. Рибосома может быть разрушена на составляющие ее части, каждая из которых может быть выделена в индивидуальной форме. Если их смешать, происходит чудо: белки находят соответствующие им места на нити нуклеиновой кислоты с точной пространственной локализацией и даже присоединяются в той же последовательности во времени, в которой они ранее удалялись

<sup>13</sup> Франсуа Жакоб, французский микробиолог, генетик, один из авторов гипотезы переноса генетической информации и регуляции синтеза белка в бактериальной клетке; Нобелевская премия 1965 г.

<sup>14</sup> Jacob F. *La logique du vivant*. Paris, 1976.

<sup>15</sup> Эрвин Шредингер (1887—1961), австрийский физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, иностранный член-корреспондент (1928) и иностранный почетный член АН СССР (1934); труды по кристаллографии, математической физике, теории относительности, биофизике; Нобелевская премия 1933 г. (совместно с П. Дираком).

<sup>16</sup> Шредингер Э. *Что такое жизнь с точки зрения физики*. М., 1947.

<sup>17</sup> Андре Мишель Львов (1902—1994), французский генетик и вирусолог, иностранный член АМН СССР с 1967 г., работы по изучению латентных вирусных инфекций легли в основу теории регуляции синтеза белка; Нобелевская премия 1965 г. (совместно с Ф. Жакобом и Ж. Моно).

<sup>18</sup> Lwoff A. *L'ordre biologique*. Paris, 1969.

<sup>19</sup> Mirzabekov A. D., Lastity D., Levina E. S., Bayev A. A. Localization of two recognition sites in yeast valine-tRNA // *Nature New Biology*. 1971. V. 229. P. 21—22.

<sup>20</sup> Nomura M. // *Nature*. 1970. V. 228. P. 744.

из целой структуры. Рибосома вновь образована и обладает всеми характерными для нее свойствами. Это непревзойденный пример исключительного совершенства интегративной информации!

Несколько лет назад почти одновременно в двух противоположных точках, в Москве и в Бостоне, двое друзей сформулировали совершенно аналогичную точку зрения на основную характеристику сущности жизни.

Алекс Рич<sup>21</sup> в статье, помещенной в 15-томном энциклопедическом издании «Наука и техника» Мак-Гроу Хилла, и Энгельгардт в докладе на собрании Академии наук СССР утверждали, что жизнь состоит из трех потоков: потока материи, определяющего метаболизм организма, потока энергии как движущей силы всех проявлений жизни и потока информации, который пронизывает все существование организма, начиная с взаимосвязей мельчайших частей — молекул биополимеров, включая взаимодействие организма с его окружением, и кончая бесконечной цепью наследственной информации, переходящей от поколения к поколению.

Каналы, по которым течет поток информации, весьма разнообразны: кванты света при зрительном восприятии, электрические токи при нервной передаче, чисто химические вещества при гуморальных механизмах. Но главный поток биологической информации, количественно преобладающий и имеющий наиболее универсальный характер, определяется менее осязаемой и тем не менее наиболее широко представленной, бесконечно разнообразной формой — речь идет о слабых силах межмолекулярного взаимодействия. Как объекты научного интереса, они начинают «забывать» сильные силы ковалентной природы, которые действуют между атомами, удерживают их вместе и, таким образом, отвечают за построение молекул.

Роберт Олби в уже упомянутой мною статье рассказывает о восхищении одного из основателей молекулярной биологии Френсиса Крика по поводу слов Лайнуса Полинга<sup>22</sup>. Полинг сказал, что «он думает,

что обычно специфические биологические свойства веществ определяются не сильными силами внутримолекулярного взаимодействия, а наоборот, слабыми силами — силами Ван-дер-Ваальса, водородными связями, которые действуют между молекулами».

Было бы ошибочным предположить, что механизм действия этих сил сводится лишь к чисто механической функции удержания партнеров вместе. Только межмолекулярные силы, силы слабого взаимодействия, являются теми каналами, через которые поток информации попадает во всю сферу молекулярного уровня и уровней, непосредственно к нему примыкающих. Этой функцией слабых сил межмолекулярного взаимодействия полностью пренебрегали.

Еще одно замечание, исключительно общего характера, — о слабых силах межмолекулярного взаимодействия. Во всей современной биоэнергетике преобладает принцип, который может быть назван квантизацией энергии, доставляемой для всего многообразия жизненных функций. Это происходит при разделении сравнительно больших количеств энергии, получаемой, например, при сгорании молекулы сахара в процессе дыхания, на небольшие порции в форме фосфатных связей с высокой энергией. Общее количество, составляющее приблизительно 600 килокалорий, распределяется на части примерно по 10 килокалорий. Возникает вопрос: не нужно ли рассмотреть второй этап, вторую стадию этой квантизации?

Кванты энергии фосфатных связей адекватны, если мы имеем дело с химическими реакциями, при которых происходит образование и разрушение главновалентных связей — внутримолекулярных связей, участвующих в образовании структуры молекул. Можно задать вопрос: насколько правомерно рассматривать образование, взаимодействие и функции слабых межмолекулярных сил как результат дальнейшего этапа квантизации энергетического запаса живых систем? Я адресую этот вопрос моим коллегам, молекулярным физикам.

Говорят, что один дурак может задать столько вопросов, что сто мудрецов не ответят. Я по возможности ограничил себя и задал только один вопрос с надеждой, что для ответа на него не потребуются усилия такого большого числа мудрецов.

<sup>21</sup> Алекс Рич, профессор, член Национальной академии наук США, заведующий отделом Массачусетского технологического института. Поддерживал дружеские отношения с В. А. Энгельгардтом.

<sup>22</sup> Лайнус Карл Полинг (1901—1994), американский физик и химик, иностранный член АН СССР с 1958 г.; автор первых фундаментальных работ по применению квантовой механики к изучению химических связей; один из инициаторов Пагуошского движе-

ния; Нобелевская премия по химии 1954 г., Нобелевская премия мира 1962 г., Международная Ленинская премия 1970 г., Золотая медаль им. Ломоносова АН СССР 1977 г.

## Спустя 10 лет...

**Т. В. Венкстерн,**  
доктор биологических наук  
Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН  
Москва

**К**ОГДА встал вопрос о написании статей к 100-летию со дня рождения Владимира Александровича Энгельгардта, прозвучало сомнение, что все, мол, уже сказано в книге воспоминаний и ничего нового быть не может<sup>1</sup>. Никак не могу согласиться с этим тезисом. Во-первых, с определенной дистанции, по прошествии какого-то времени, особенно столь богатого событиями и переменами, многие поступки, качества, свойства выглядят по-иному, оцениваются глубже, беспристрастнее и, вероятно, справедливее. Во-вторых, освещение одних и тех же качеств Владимира Александровича разными людьми на фоне разных событий придаст им свойство полной достоверности, исключив возможность мимолетных субъективных впечатлений.

В этих заметках мне хочется написать о моем учителе не только по своим, конечно же субъективным, ощущениям, приобретенным, правда, на протяжении почти полувекового тесного общения с ним, но и по сведениям, которые я смогла почерпнуть из опыта других, близких Энгельгардту людей, а также работая с его архивами.

Владимир Александрович был прежде всего ученым мирового масштаба, и об этом — в первую очередь. Он завоевал себе широчайшую известность и славу в основном двумя открытиями, каждое из которых, безусловно, заслуживало бы Нобелевской премии. Одно из этих открытий, сделанное еще в 1931 г., — процесс «респираторного ресинтеза аденозинтрифосфата (АТФ)», по терминологии автора, получивший позже название «окислительного ресинтеза АТФ». Как все гениальное, опыты были предельно просты, а выбор объекта исследования, сыгравшего решающую роль, был на редкость удачен.

Это были эритроциты голубей, представляющие собой мешочек, наполненный раствором гемоглобина, в котором плавает ядро. Главная особенность этих клеток —



Учитель.

интенсивное дыхание, поддерживающее постоянный высокий уровень АТФ. Этот факт был доказан в красивых экспериментах со сменой аэробных и анаэробных условий опыта. Как считают многие исследователи, работа эта намного опередила свое время и потому не была оценена в должной мере. А значение ее заключалось не только в открытии сопряженности дыхания и уровня АТФ. По прошествии многих лет стало очевидным, что работа эта дала начало новой и притом очень важной главе биохимии, где окислительное фосфорилирование занимает центральное место. Открытие это окончательно утвердило значение

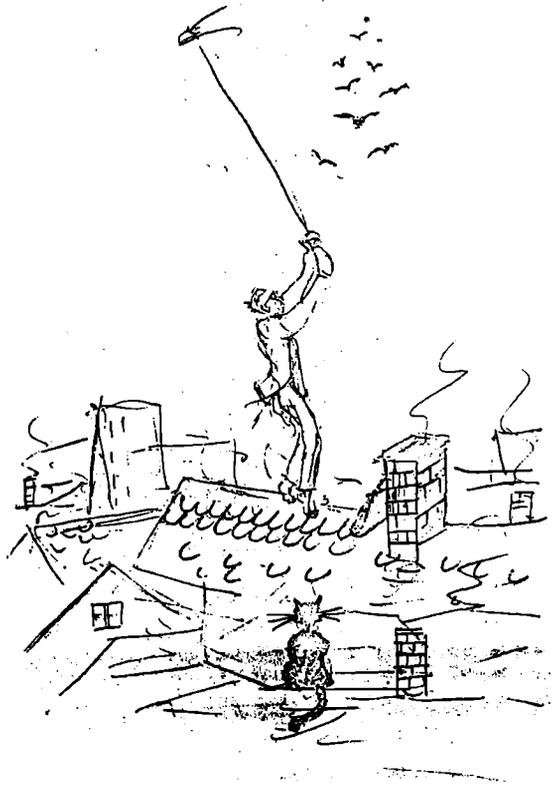
АТФ как аккумулятора энергии экзотермических процессов не только гликолиза и брожения, что было известно и ранее, но и дыхания.

Владимир Александрович был твердо убежден в том, что энергия освобождается из макроэргических фосфатных связей АТФ при участии ферментов и что, несмотря на огромное разнообразие процессов, утилизирующих эту энергию, принцип ее использования един. В экспериментах на мышце, где в наиболее ощутимой форме энергия химической связи трансформируется в механическую работу, у главного сократительного белка мышц — миозина — были обнаружены АТФазные свойства.

Это второе важное открытие, сделанное спустя восемь лет, благодаря почти гениальной интуиции исследователя, повлекло за собой грандиозные последствия. Рушились старые представления о том, что ферменты присутствуют в клетке только в микроскопических количествах в водорастворимой белковой фракции. Обнаруженное взаимное влияние фермента и субстрата, оформившееся затем в понятие механихими мышц, означало, что структурная сократительная субстанция, будучи ферментом, сама обеспечивает механическую работу, расщепляя АТФ и освобождая химическую энергию. В свою очередь АТФ меняет физические свойства миозина, которые играют главную роль в мышечном сокращении, — вязкость, эластичность, упругость. Все это говорило об изменении молекулярной структуры белка под влиянием АТФ.

Открытие АТФазной активности миозина, сделанное в 1939 г. Энгельгардтом и М. Н. Любимовой, его многолетней соратницей и женой, ломало столь много привычных понятий, что было встречено, как и все новое, с недоверием. Потребовались масса усилий и огромное количество экспериментов, самых разнообразных, чтобы доказать идентичность миозина и АТФазы мышц. Миозин чистили, пересаждали, исследовали в виде растворов, монослоев, нитей.

Сколько воспоминаний связано с миозиновыми нитями, какую огромную роль сыграли они в науке и сколько шуток породили, став излюбленным предметом шаржей! Владимир Александрович сам сидел за торсионными весами, специально приспособленными им для работы с миозиновыми нитями, и тревожить его в такие минуты было просто невозможно. В конце концов идентичность миозина и АТФазы была доказана и признана научной общест-венностью.



В погоне за любимым объектом.  
Рисунок С. Г. Тулькеса

Интуиция Энгельгардта подсказывала ему, что открытые им закономерности на мышце представляют собой один из примеров использования природой единых принципов для решения различных задач. Он полагал, что во всех органах и тканях должны присутствовать функционально важные белки, обладающие АТФазной активностью, что и позволяет им выполнять соответствующие функции. Такая теория, названная Энгельгардтом принципом актора-катализатора, впоследствии блестяще подтвердилась.

Может быть, не столь удивительно, что эти предсказанные закономерности были выявлены при изучении разного рода движений: одноклеточных организмов, жгутиков бактерий, спиралл и спермиев, высших растений и, наконец, внутри клетки — протоплазмы и хромосом.

Поразительно, что уже в 40-е годы Энгельгардт предугадал участие АТФазной системы в зрительном акте и даже начал экспериментальное исследование роли ферментов в этом процессе. Однако в то время



На демонстрацию всей лабораторной. Слева направо: Л. П. Бархаш, Ц. Д. Лившиц, В. А. Энгельгардт, Ф. С. Файн, Р. И. Татарская, Т. В. Венкстери. 1950 г.

технические возможности не позволяли раскрыть молекулярный механизм зрительного акта. Целостная картина этого сложного процесса стала складываться лишь в 1988 г., когда сотрудники Энгельгардта давно оставили эту проблему. Как и предполагал Владимир Александрович, АТФ играет в этом механизме важнейшую роль регулятора каскада ферментативных реакций. Она фотофосфорилирует родопсин, обеспечивающий восприятие светового сигнала.

Так подтвердилась гипотеза, высказанная Энгельгардтом еще в 40-е годы, к которой он позднее не раз возвращался. В 1969 г. он писал: «При изучении трансформации энергии в биологических системах с особой силой проявилась так часто наблюдаемая тенденция природы использовать единые принципы решения, казалось бы, диаметрально противоположных задач. В нашем случае мы имели бы единство некоторых основных принципов трансформации энергии в двух биологических системах, обеспечивающих максимально несхожие функции: с одной стороны, функцию самую примитивную, именно выполнение механической работы, с другой стороны, самую тонкую функцию — восприятие образов и красоты окружающего мира»<sup>2</sup>.

Вот эти два главных открытия, создавшие Энгельгардту мировую славу, во многом перевернувшие старые понятия, ставшие хрестоматийными, заложили фундамент новых направлений в биохимии. Но только ли в биохимии? Думается, что работа с миозином по существу была работой молекулярно-биологической, и потому ее автора

по праву можно считать основоположником отечественной молекулярной биологии.

Но почему ученый, обнаружив такие «золотые жилы», бросил их, отдав другим разрабатывать поднятые им пласты? Причина в том, что Энгельгардт был романтиком и в жизни, и в науке. Его мысли никогда не останавливались, стремились вперед, он любил неожиданности, новые идеи и остроумные находки, экспериментальные новшества. Его принципиальная установка, которую он часто повторял, заключалась в том, что ученый должен заниматься одной проблемой не более пяти-шести лет, в противном случае его мозг костенеет. Тезис этот, конечно, спорный. Мы знаем множество примеров, когда «классики», посвятившие всю жизнь одной проблеме, достигали больших высот и всемирного признания. Но таков был Энгельгардт, который мог позволить себе выбирать тот или иной путь в науке благодаря своему незаурядному таланту, огромному дару научного предвидения и интуиции. Об этом красноречиво говорят не только его экспериментальные работы, но и статьи, доклады, выступления.

Весьма характерно отношение Энгельгардта к творчеству, способность к которому он считал высшим проявлением духа. Пылливость ума, стремление к познанию неизведанного — это первооснова научного творчества. Удовлетворение этой потребности составляет главный источник счастья. И потому, как считал Энгельгардт, не человек служит науке, а, напротив, «сама наука всю жизнь служила ученому источником высочайшего удовлетворения, самых глубоких и радостных переживаний».

Однако не только блестящие успехи Энгельгардта-ученого вписаны в золотой фонд науки. Не менее важной заслугой

<sup>2</sup> Научная мысль. Вестник Агентства печати «Новости». 1969. Вып. 5. С. 1—15.

его в области молекулярной биологии стало создание института, носящего сегодня его имя. Институт радиационной и физико-химической биологии, впоследствии ставший Институтом молекулярной биологии, по сути своей открыл новый этап в развитии физико-химической биологии.

«Я — за вершины», — таков был жизненный девиз Владимира Александровича. Так он действовал сам, к этому призывал своих учеников и сотрудников. Думаю, не ошибусь, если скажу, что при создании института он придерживался того же принципа. Это дало плоды — институт уже вскоре после своего рождения завоевал мировое признание.

Тогда, в конце 50-х годов, сама мысль о применении в биологии физических и химических методов считалась крамольной, не говоря о молекулярной биологии, которая могла быть истолкована как биология молекул. Однако при создании института Энгельгардт использовал принцип «трех китов»: коллектив института должен состоять из биологов, химиков и физиков, представленных поровну и решающих одни и те же проблемы, причем участие их в общей работе должно быть не только и даже не столько методическим, сколько идейным.

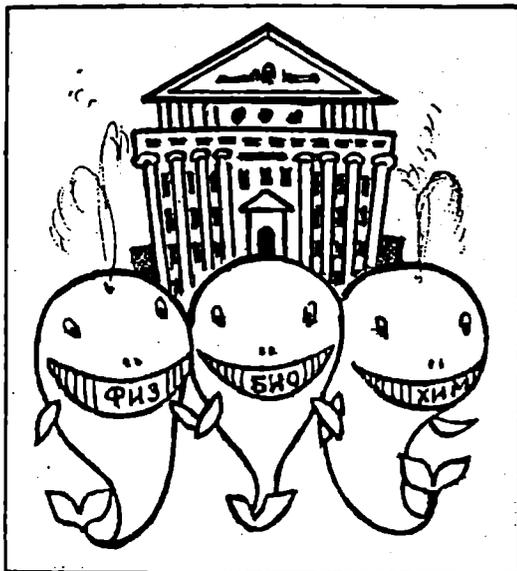
Быстрые и значительные успехи института были в большой мере обусловлены этой посылкой. Но сколько требовалось ума, мудрости и дипломатии, чтобы противостоять еще чрезвычайно сильной тогда лысенковщине, чтобы не поступиться своими принципами и вместе с тем не «перегнуть палку», не довести любимое детище до краха, избежать разгона, запрета. Директор не мог позволить себе быть безрассудным, как некоторые люди в те времена: за его спиной в известной степени стояла вся биологическая наука и, уж во всяком случае, весь институт! Рисковать этим он не имел права. Но там, где это было необходимо, Энгельгардт действовал решительно и смело. Его гражданское мужество общеизвестно. Скольким людям он помогал в период сталинских репрессий, совершенно не считаясь с тем риском, которому подвергался сам!

Все, кто когда-либо и где-либо работал с Владимиром Александровичем, будь то в Казани, в Ленинграде или в Москве, оценивают это время как радостное, счастливое, не говоря уже о его продуктивности и научной насыщенности. Прежде всего это определяется самой личностью Энгельгардта, его отношением к науке, к людям, его авторитетом. Тот микрокли-

мат, который он создавал вокруг себя, был основан на бескорыстной преданности науке, на неудержимом стремлении к самосовершенствованию, к новым знаниям, к расширению своего кругозора. Авторитет директора был непрерываем, люди подчинялись ему добровольно и охотно, так что жить и работать при «просвещенной монархии» было легко.

Огромная эрудиция, высокая интеллигентность и аристократизм, совершенное знание четырех языков и, наконец, неотразаемое обаяние, казалось, ставили директора на недостижимую высоту. Но этого не было никогда: как истинный аристократ, он был необычайно прост в общении со всеми людьми, независимо от их положения, склонен к самокритике и самоиронии. Все это создавало легкость в общении. Если к этому добавить, что на первом плане у Владимира Александровича всегда были научные интересы, интересы института, сотрудников и никогда — свои, то совершенно понятна та демократическая обстановка единой семьи, которая в нем царилла.

Не могу не упомянуть еще об одной черте Владимира Александровича, которая в наше время стала поистине уникальной. Он искренне радовался успехам других людей, не проявляя никакой ревности. Особенно он бывал воодушевлен, если это касалось молодых людей. Они брались за заметку, пользовались подчеркнутым доброжелательным вниманием и действенной поддержкой.



Принцип «трех китов».



С М. Н. Любимовой

На симпозиуме по структуре и функции генома. Баку. 1977 г.

В институте царила та творческая атмосфера, когда все стремились сделать как можно больше, выложиться до конца. Только научные успехи определяли место сотрудника в институте, именно они давали «путевку» в заграничные командировки, а не наличие партийного билета или иные подобные обстоятельства, как это было в большей части учреждений. Если директор считал выезд целесообразным или даже необходимым, он преодолевал все препятствия и «вывозил» этого человека, иногда в самом буквальном смысле этого слова.

Продолжая «заграничную» тему, хочется отметить, что Энгельгардт, понимая все значение международных контактов для науки, раньше, чем кто-либо другой, начал их интенсивно развивать. Ему много раз удавалось приподнимать «железный занавес», когда другим это было недоступно. Думается, это зависело не только от мудрости и дипломатичности, но и от самой личности Владимира Александровича. По его инициативе и при его непосредственном участии в институте функционировало франко-, итало- и германо-советское сотрудничество, когда в других институтах об этом еще не помышляли. Германо-русские контакты, начатые с легкой руки Энгельгардта еще в 1976 г., продолжают и по сей день, пройдя самые трудные периоды.

Этому немало способствовал необычайно высокий авторитет Владимира Александровича во всех европейских странах,

особенно в тех, в которых он бывал сам. Слова, что ты работаешь в институте Энгельгардта, до сих пор служат визитной карточкой, неизменно вызывая интерес и уважение. Иностранные коллеги высоко ценили Энгельгардта и как политического деятеля, его работу на Пагуошских конференциях. Их всех восхищали те же качества, которые мы ценили у себя дома. Даже при коротких встречах, в совершенно необычной обстановке Владимир Александрович поражал силой своего интеллекта и величием духа.

До конца своих дней Владимир Александрович был необычайно молод душой, сохранял живой интерес ко всему новому, интересному и красивому. Всегда неутомимый, в поездках он не терял ни минуты и чрезвычайно радовался любознательности своих спутников. Будучи великолепным рассказчиком, он делился впечатлениями, причем так живо, что слушатели невольно становились соучастниками рассказанных событий. Сам он также хорошо умел слушать других, что дано далеко не всем.

Как ни странно это звучит теперь, но Владимир Александрович всегда находил время, чтобы поговорить с сотрудниками, причем не только о науке: ему было интересно все — рассказы о новых книгах, выставках, концертах, спектаклях. Но наука непременно была на первом месте.

У всех нас остались незабываемые впечатления о последних больших выступлениях Владимира Александровича. Так, в



возрасте 86 лет он сделал блестящий доклад на заседании, посвященном 50-летию юбилею открытия окислительного фосфорилирования, причем рассказал не только об истории своего открытия, но и дал анализ современного состояния этой проблемы, центр тяжести которой уже сместился в достаточно далекую от Владимира Александровича область, а именно в физику. Восхищение аудитории вызвало и

последнее выступление в 1984 г., за несколько месяцев до кончины, в связи с созданием в институте отдела молекулярно-генетических основ онкологии и иммунологии. Владимир Александрович в короткий срок в совершенстве овладел основами этой сложной проблемы. Его 40-минутный живой и оригинальный доклад, как всегда, продемонстрировал нестандартность мысли и свежесть восприятия. И это в 89 лет!

## Механизм взаимодействия единичных молекул миозина

Блестящие работы В. А. Энгельгардта и М. Н. Любимовой показали, что миозин, являясь одновременно ферментом аденозинтрифосфатазой, сам обеспечивает себя энергией, необходимой для сокращения мышц. Эти результаты ценны не только сами по себе. В свое время они инициировали совершенно новое направление исследований, которое продолжает развиваться и по сей день.

Так, совсем недавно группа американских исследователей, используя тончайшие методические приемы, измерила взаимодействие единичной молекулы миозина с индивидуальной нитью актина. Оказалось, что при малых нагрузках миозиновая молекула претерпевает ступенчатое смещение, составляющее в среднем 11 нм, и развивает силу, равную 3 – 4 пН. Измерение механических свойств единичных молекул продемонстрировало зависимость смещения и силы ответа от расщепления АТФ. Эта работа еще раз подтвердила открытие Энгельгардта, сделанное почти 50 лет назад.

## Наш «дед»

**Е. Н. Твердохлебов,**

кандидат физико-математических наук

Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН  
Москва

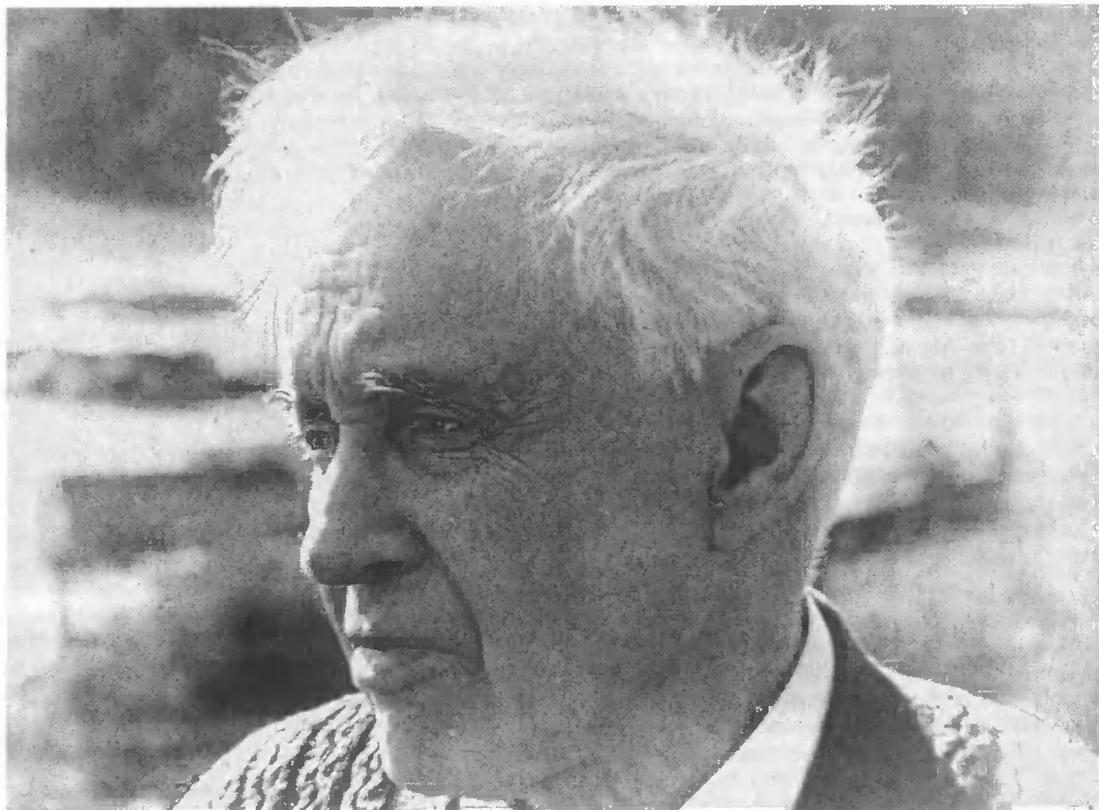
**В** ЭТОМ ЗДАНИИ с 1959 по 1984 год работал выдающийся советский ученый-биолог, Герой Социалистического Труда, лауреат Государственных премий СССР академик Владимир Александрович Энгельгардт». Мемориальная доска белого мрамора с этой надписью укреплена на помпезном, сталинского типа архитектуры, доме с колоннами по улице Вавилова.

В это здание я впервые вошел в де-

кабре того же, 1959 г., поступив на работу техником радиогруппы Института химии природных соединений АН СССР, делившего сей памятник архитектуры с Институтом радиационной и физико-химической биологии АН СССР, создателем и директором которого был В. А. Энгельгардт. Мое личное знакомство с Владимиром Александровичем состоялось только через три года, но в первые же дни я обратил внимание

© Твердохлебов Е. Н. Наш «дед».

Директор.





В институте молекулярной биологии. Справа налево: А. А. Баев, М. М. Шемякин, В. А. Энгельгардт, А. Д. Мирзабеков. Конец 60-х годов.

на высокую стройную фигуру пожилого седого человека, резко выделявшегося внешне даже на академическом фоне. Он был изящен и элегантен, даже когда просто стоял, слушая собеседника, и еще более — в движении и речи. Я спросил одного из наших сотрудников постарше:

— Кто этот человек, чем-то неуловимо похожий на Вертинского?

И услышал в ответ:

— Сам ты на что-то похожий! Это же академик Энгельгардт.

Мой собеседник, убедившись в моей полной дикости, более получаса рассказывал мне о том, какой директор великий ученый, что Лысенко считает его одним из главных врагов, что сразу возвысило его в моих глазах.

Первая личная встреча с Владимиром Александровичем запомнилась мне необычностью обстоятельств знакомства. В один из не по-московски солнечных октябрьских дней 1962 г., вскоре после начала рабочего дня, мне позвонила Вера Владимировна Беленицкая, референт В. А. Энгельгардта и хорошая знакомая моей мамы:

— Женя, если ты не очень занят, зайди, пожалуйста, ко мне.

Спускаюсь на третий этаж, захожу в приемную директорского кабинета. Вера Владимировна кивает, открывает дверь в сам кабинет и произносит:

— У академика Энгельгардта к тебе просьба. Не забудь поздороваться.

Опешив от неожиданности, захожу, здороваюсь. Владимир Александрович встает из-за стола, подходит, отвечает на приветствие, не подавая руки (я уже знал тогда, что его мучает полиартрит). Задумчивый, какой-то внутренне сосредоточенный, произносит:

— Евгений Николаевич; у меня личная просьба — срочно отнесите это в ФИАН. И протягивает мне средних размеров белый служебный конверт.

— В проходной Вас будут ждать, назовите только свою фамилию.

Я понял, что комментарий не будет, кивнул, положил конверт во внутренний карман пиджака и через пять минут был в проходной Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Стоявший рядом с вахтером человек чуть постарше меня взглянул вопросительно, кивнул, услышав мою фамилию, и провел внутрь главного корпуса, на третий этаж. В тесном, заваленном книгами и бумагами кабинете нас ждал невысокий пожилой человек. Он

поздоровался, не представившись, мельком приоткрыл конверт, кивнул и положил его в ящик письменного стола. Я, не зная, что делать дальше, молча стоял у двери. Хозяин тотчас же понял, что никаких дальнейших инструкций мне не дано, мягко улыбнулся и сказал:

— Спасибо, больше ничего не нужно. До свидания.

Только в 1975 г., на праздновании 275-летия Академии наук СССР в Кремле, я узнал, что моим мимолетным собеседником в ФИАНе был Игорь Евгеньевич Тамм, с которым больше мне не довелось встретиться. Закончив вечерний институт, в феврале 1966 г. я перешел в институт Энгельгардта, в то время уже называвшийся Институтом молекулярной биологии.

Встречи с директором были редкими, но регулярными, особенно с 1975 по 1977 г., когда я был председателем профсоюзного комитета ИМБ АН СССР. Это дало мне возможность ближе узнать Владимира Александровича. Много лет спустя я поинтересовался у него, что за бумагу по его просьбе я относил тогда в ФИАН. Владимир Александрович улыбнулся своей характерной короткой улыбкой, при которой на мгновение вспыхивали его бледно-голубые глаза, и ответил: «Это было по поводу первых серьезных гонений на Андрея Дмитриевича Сахарова, проект письма в ЦК КПСС группы академиков».

Не стоит говорить о значении Энгельгардта для российской и мировой науки — об этом сказано и написано более чем достаточно. А вот об Энгельгардте-человеке я вспоминаю часто. Он принадлежал к вымирающему племени российских дворян-интеллигентов. Бросались в глаза при первом же знакомстве его ум, расположенность к людям и умение слушать собеседника — качество, очень редкое в наше время. Узнавая его глубже, я поражался и завидовал его европейской образованности и блестящему знанию иностранных языков. Большую часть написанного Данте и Гёте он знал, кажется, наизусть и часто цитировал на языке оригинала.

Владимир Александрович был добр в лучшем смысле этого слова, добр изначально. Масса людей, знакомых и незнакомых, обращались к нему с самыми разнообразными просьбами о помощи: достать импортное лекарство, устроить в привилегированную клинику, помочь попасть на прием к высокому академическому и иному начальству, и многое другое. И практически всегда В. А. Энгельгардт, пользуясь не

столько своим положением, сколько питаемым к нему уважением, выполнял такие просьбы.

С большим удовольствием вспоминаю еще одно качество Владимира Александровича — его юмор. Многие отмечали, как любил он наши институтские капустники и как гордился ими. Думаю, значительно меньшее число людей знает, что Энгельгардт был почитателем и ценителем самого распространенного в России юмористического жанра — анекдотов, отдавая предпочтение политическим.

Когда мне приходилось приносить ему на подпись многочисленные документы, он, закончив эту работу, аккуратно закрывал изнутри дверь своего кабинета и спрашивал: «Ну, что новенького?»

Пояснений, что имеется в виду, не требовалось, и я с удовольствием выдавал ему порцию свежих анекдотов. Сам он, правда, при мне никогда их не рассказывал, и его осторожность в те годы вполне понятна — он ведь отвечал не только за себя, но и за институт и его судьбу.

Однажды утром я зашел в кабинет директора с очередной порцией профкомовских бумаг. Это было через пару месяцев после осуждения и высылки в Якутию моего брата, А. Н. Твердохлебова. Владимир Александрович спросил, есть ли сведения о его судьбе: я ответил, что все относительно благополучно, связь поддерживаем и, кстати, есть анекдот на данную невеселую тему.

Но глаза Владимира Александровича не блеснули, как обычно. Он поднял руку и произнес: «У меня вчера закончили ремонт кабинета, проводов — куча. Вы можете это нарисовать?»

«Это» можно было нарисовать. Я подошел к доске, взял мел и изобразил:



Анекдот назывался «категории советских диссидентов». Энгельгардт улыбнулся, помолчал и сказал, заканчивая аудиенцию: «Спасибо. А теперь сотрите, пожалуйста».

Мудрость и глубокое понимание людей В. А. Энгельгардтом ярко проявились при создании им нашего (его) института. Ведь

он сумел привлечь к становлению отечественной молекулярной биологии не только блестящих специалистов — биологов, химиков и физиков; все они были его единомышленниками, видящими смысл своей жизни в служении науке. Достаточно назвать имена А. А. Баева, А. А. Прокофьевой-Бельговской, А. Е. Браунштейна, Л. А. Тумермана. До сих пор его детище — один из лучших и в самом хорошем смысле нестандартных биологических институтов.

Неожиданная и нелепая смерть В. А. Энгельгардта в больнице 4-го управления Минздрава после несложной операции потрясла всех знавших его. Ушел из жизни замечательный, совершенно неординарный, добрый и веселый человек. Остался его любимый Институт молекулярной биологии, хранящий память о своем создателе и директоре и носящий его имя.

## Подарок судьбы

**Б. С. Сухарева,**

доктор биологических наук  
Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН  
Москва

**С**РЕДИ ПРОФЕССОРОВ Московского университета Владимир Александрович Энгельгардт резко выделялся: он проявлял живой интерес к науке, был прост в обращении со студентами и легко взбегал

по ступенькам лестниц. На четвертом курсе он читал нам энзимологию. Лекции начались в 8 часов утра, так что иногда студенты клевали носом, однако профессор всегда был в отличной форме. Его внешне небро-

Со студентами кафедры биохимии животных биологического факультета МГУ. Выпуск 1954 г.

© Сухарева Б. С. Подарок судьбы.





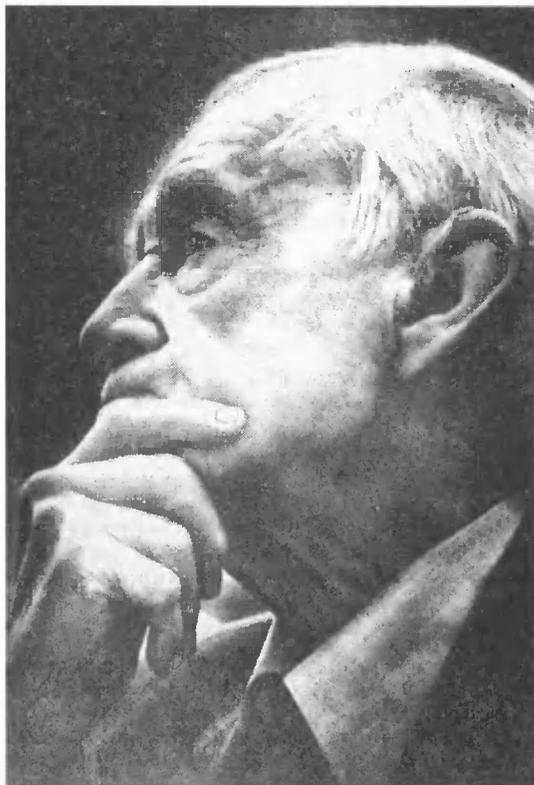
Ответственный «пожарный» т. Энгельгардт В. А.  
Рисунок С. Г. Тулькеса

скую, даже несколько монотонную манеру чтения мы в полной мере оценили лишь при подготовке к экзамену. По ходу курса Владимир Александрович вводил нас прямо в гущу современных исследований, пересказывал самые свежие статьи, не обходя вниманием противоречия, естественно возникавшие в биохимии в результате использования разных методик и трактовки экспериментального материала. Его яркие, неожиданные выражения запоминались надолго, например: «О ферментах, как и о людях, судят по их поведению»; или, говоря о роли промежуточных фермент-субстратных комплексов: «По ступенькам легче идти, чем прыгать через забор». На экзаменах у него все получали отличные и хорошие отметки (когда надо было поставить тройку, экзаменатор мучился: «Как же я студентку без стипендии оставлю»), но в заветной книжечке профессор помечал все индивидуальные особенности студента — впоследствии при необходимости оценить молодого специалиста он использовал свои записи.

Для меня обаяние Энгельгардта было столь велико, что не оставалось сомнений: надо делать диплом только у него, хотя это и не сулило мне никакой перспективы для будущего трудоустройства. Обстановка в лаборатории была очень приятной. Руководила моей дипломной работой М. Н. Любимова. Когда появились первые результаты, ими заинтересовался Владимир Александрович и стал приносить записки с перечнем необходимой литературы и планами дальнейших опытов. До сих пор я с удовольствием вспоминаю это время и радость от удавшихся опытов. Однажды Милица Николаевна пригласила меня домой для оформления работы. Дом их находился за Большим театром. Квартира была на первом этаже, половицы осели даже ниже тротуара. Зато в комнате вся стена была увешана большими фотографиями заснеженных гор, как бы призывавшими вошедшего смотреть ввысь. Эти впечатления студенческой поры остались в памяти надолго.

Только через несколько лет, когда появилось вакантное место в институте, руководимом Энгельгардтом (тогда он назывался Институт радиационной и физико-химической биологии), я вновь встретилась с Владимиром Александровичем. К этому времени я уже поработала в других институтах и имела возможность сравнивать. Прежде всего поражал состав Ученого совета — это были крупнейшие специалисты в разных областях науки — и потому заседания Ученого совета напоминали пиршество интеллекта и знаний. Каждый свободно высказывал свое мнение, сталкивались диаметрально противоположные точки зрения на проблемы науки и институтской жизни, никто не старался угодить директору. Владимир Александрович внимательно выслушивал все возражения, как бы проверяя силу собственных доводов, и иногда смущенно разводил руками: «Ну, кажется, я остался в меньшинстве». Ученые разных специальностей взаимно обогащали друг друга: были созданы «ликбезы» по физике и химии для биологов. В свою очередь физики и химики осваивали биологию. Владимир Александрович поощрял работу в разных областях молекулярной биологии, он говорил о вреде разобщения разных ветвей науки и плодотворности взаимопроникновения знаний.

Большое внимание директор уделял подбору кадров: не гоняясь за увеличением штатов, он тщательно выбирал людей, сам разговаривал с новичками. Большинство сотрудников были молоды, работали много и с большим энтузиазмом, каждый имел пол-



Преодоление.

ную возможность для развития собственных замыслов и вносил свою лепту в общее дело. Обязанности директора не ограничивались одной наукой, например, приходилось заниматься гражданской обороной или выяснением отношений с пожарниками. И в этих случаях он оставался на высоте положения: показывая пример своим сотрудникам, вставал в общий строй с противопогазной сумкой

или очаровывал пожарного инспектора, прибывшего сделать серьезный разнос.

Интересной и насыщенной была вся жизнь в институте, не только научная. Достаточно вспомнить знаменитые капустники, где в стихах, в прозе, а позднее и в вокальных партиях звучали доброжелательные, а частенько и язвительные пародии на многих институтских персонажей, начиная с директора, искренне обижавшегося, если его не упоминали в очередном капустнике. Постепенно Владимир Александрович приучил всех сотрудников, включая наших хозяйственников, считать высокой честью быть героем капустника. А знаменитое кафе «Спираль»! Гостями его в разное время были выдающиеся артисты, историки, юмористы, писатели. Первое заседание кафе открыл Владимир Александрович вместе с И. Е. Таммом. На одном из заседаний он же читал свои переводы стихов Ф. И. Тютчева на английский язык. Конечно, в жизни института активно участвовали многие сотрудники, но общий тон задавал директор, для которого ненавистным было понятие серости. Это была счастливая пора для сотрудников и, наверное, для самого В. А. Энгельгардта.

Постепенно жизнь в институте менялась, отдельные научные направления разрастались, управлять ими и координировать их отношения становилось все труднее. После тяжелой болезни ушла из жизни Милица Николаевна. Годы не пощадили и самого Владимира Александровича: полиартрит поразил его руки, и мучительно стало подписывать гору писанины, как положено делать директору. Слово «преодоление» более всего подходит к этой полосе его жизни. И это испытание было выдержано им с честью. До последних дней Владимир Александрович работал, строил планы на будущее...

Прошло уже десять лет со дня кончины В. А. Энгельгардта. И сейчас, вспоминая ушедшие годы, я думаю, что общение с ним для меня, как и для многих людей, было щедрым подарком судьбы.

## Несколько штрихов к портрету

С. Г. Тулькес,  
кандидат технических наук  
Институт проблем волоконной оптики  
Москва

**И**НСТИТУТ радиационной и физико-химической биологии (а также и ломающая язык аббревиатура «ИРФХБ») был создан Владимиром Александровичем Энгельгардтом в 1959 г. Диковинный институт разместился на одной половине внушительного здания, украшенного архаической колоннадой, медальонами, барельефами ученых мужей и лаконичной надписью на фронтоне: «Институт горного дела». Впрочем, к этому моменту велением Хрущева горняки были выворены в Панки (видимо, поближе к разработкам), а в опустевшем здании царили разгром и мерзость запустения.

Вполне понятно, что Институту радиационной и физико-химической биологии полагалось иметь соответствующую его экологическому названию базу — центр, оснащенный необходимым оборудованием, укомплектованный квалифицированным персоналом и др., а ежели всего этого не было, то это нужно было создать или, в конце концов, придумать. Последнее обстоятельство и объясняет, почему я повадился слоняться по ободраным, изрытым коридорам первого этажа, где мыслилось разместить изотопный блок и источники рентгеновского излучения (более мощные источники собирались расположить в отдельном двухъярусном строении). Фантастический прожект «радиационного центра ИРФХБ», с одобрения руководителя будущей лаборатории Я. М. Варшавского, вскоре лег на стол директора.

«Прожект» дивного радиационного центра, «с ванной, гостиной, фонтаном и садом», вызвал у Энгельгардта большой интерес и массу вопросов, которые он ежедневно задавал нам, требуя таких объяснений, чтобы это, по его выражению, «было бы понятно среднему академику». Вскоре все материалы были согласованы, утверждены и отвезены в Президиум, где осели, видимо, навсегда. Во всяком случае, мне никогда больше не доводилось о них слышать.

Зато директор, сочувственно поглядывая на мою унылую физиономию, советовал пока, не мешкая, въехать в «полтора модуля» и, ограничившись парой установок, запустить их, обещав «открытие» мини-центра (скорее, микроцентра) отметить шампанским. Ранним утром в день «открытия» он действительно явился с шампанским, попросил припрятать вино в камеру для облучения и, пообещав быть к 12, удалился к себе. В торжественный момент «открытия», разрезав ленту и открыв установку, он весьма натурально изобразил удивление. Вообще, как мне кажется, он здорово умел подыгрывать и подчас делал это не без удовольствия.

Вскоре я окончательно понял, что никакой радиационной биологией всерьез никто в ИРФХБ заниматься не будет и вывеска наша — необходимый камуфляж и защита от всесильных мракобесов, к которым все еще был расположен Хрущев, и что мне ничего другого не остается, как своей работой оправдывать хотя бы первую часть странного названия института. Тем временем Энгельгардт уже собирал под защитой ИРФХБ мощное ядро, которое впоследствии определило высокий научный потенциал Института молекулярной биологии и тот поистине уникальный уровень интеллигентности и культуры, которым институт выделялся.

Почти ежедневное общение с Владимиром Александровичем положило начало его доброжелательному отношению ко мне, несмотря на дистанцию между академиком и мэнэссом и на его полнейшее безразличие к источникам излучения. Позднее, когда он познакомился с моей графикой, живописью и опытами в жанре юмористической пародии, он стал интересоваться моими суждениями и литературными пристрастиями. Узнав о моем увлечении Пастернаком, он принес мне как-то записи голоса поэта, а познакомившись с моими картинами, посвященными Борису Леонидовичу, счел возможным представить меня его сест-



Снова в горы...

Здесь и далее рисунки автора.

ре Лиле Леонидовне Пастернак-Слетер в один из ее приездов из Оксфорда.

В 1969 г. Владимир Александрович захватил с собой в США для дочери Альберта Эйнштейна фотокопию его портрета, написанного мною. Так этот портрет попал в Принстон, на Мерсер-стрит, 112, где когда-то жил великий Эйнштейн. Необходимо упомянуть еще и о том, что, узнав о моей работе над портретами Эйнштейна, Владимир Александрович поспешил познакомить меня с той частью переписки Эйнштейна, которую привез для издания четырехтомника. Невозможно переоценить всю важность для меня каждой строчки из личных писем Эйнштейна, тем более, что далеко не все они потом были опубликованы.

Как-то в разговоре об Александре Исаевиче Солженицыне я посетовал на то, что не знаком с его драматургией. Каково же было мое удивление, когда, возвратившись из очередного вояжа, кажется в Швейцарию, директор принес для меня томик Солженицына, куда входили его пьесы «Свеча на ветру» и «Олень и шалашка». И это было во времена, не располагавшие к такого рода движениям души. Впрочем, на этот счет у Владимира

Александровича были твердо выработанные собственные суждения. Он не менял их и не желал менять, даже если они шли вразрез с ситуацией.

Когда я вспоминаю события 1963—1964 гг., связанные с появлением в институте комиссии во главе с Лысенко, а затем с общим собранием Академии, на котором Энгельгардт нанес сокрушительный удар по Трофиму, у меня перед глазами возникает высокая фигура Энгельгардта, неожиданно возникшая передо мной жарким июльским днем 1964 г. в пустынном, прохладном холле института. Узнав меня, он медленно поднимает в приветствии руку. Я подхожу. Он как-то рассеянно улыбается, а слегка оттопыренная нижняя губа говорит о чем-то очень серьезном.

— Вы спешите?

— Нет, Владимир Александрович.

— Это хорошо,— замечает он, слегка удерживая меня за локоть.— Я сейчас был на общем собрании,— продолжает он неторопливо. Он рассказывает о том, что поддержал кандидатуры выдвинутых отделением



Теперь — в Париж.



С Лысенко.

«Однажды Петр Леонидович вместе с Владимиром Александровичем был вынужден поехать в хозяйство к Лысенко — туда принудительно повезли нескольких строптивых академиков, чтобы убедить их в возможности чуда. Им показывали раскормленных бычков и долго всдили по опытным полям. По словам Петра Леонидовича, все это время Владимир Александрович ходил молча, все разглядывал, но с таким выражением глубокого отарашения на лице, которого он до сих пор никогда у него не видел, да и вообразить себе не мог».

(Капица А. А. Воспоминания о В. А. Энгельгардте. С. 226).

в академики двух ученых-селекционеров и пресек попытку Лысенко протаскать в академики своего сподвижника — Нуждина. Выступления, вслед за Энгельгардтом, академиком Тамма и Сахарова довершили удар. Нуждин был забаллотирован. Напрасно Лысенко пытался апеллировать к Келдышу, истерическим хрипом требуя у него поддержки.

— Вот я шел и думал: «Ах, какой я молодец, как здорово я выступал!» А сейчас вдруг спохватился: да что же это за подлость — высказать правду и считать себя за это молодцом. Боже мой! Ну, как же так можно? До чего же мы дошли! Французы говорят: «Ноблес оближ»... Нет, это скорее «Подлес оближ», — печально завер-

шил свой монолог Владимир Александрович.

На следующий день газета «Сельская жизнь» разразилась гигантской статьей, обвиняя Энгельгардта в необъективности, а академиков Тамма и Сахарова — «инженера по образованию» (!) — в некомпетентности. Тучи над институтом сгустились, но удар, нанесенный Энгельгардтом, стал началом конца «эры Лысенко», который наступил тотчас же вслед за неожиданным смещением Хрущева.

Всякий раз, когда потом мне доводилось читать стенограмму этого собрания, передо мной возникал не образ мужественного рыцаря, с открытым забралом выступившего против мракобесов, а растерянная и грустная улыбка Владимира Александровича.

События, о которых я собираюсь поведать, случились в год, когда заезд участников очередной школы по молекулярной биологии пришелся на окончание школьных каникул. Узнать хорошо знакомые нам чистенькие номера пансионата «Мозжинка» и его уютные гостиные было невозможно. Везде царил разгром, словно пронесся смерч. Было сломано, уничтожено, разбито, изувечено все... Пожалуй, картина разрушения Вавилона или последствия нашест-

вия вандалов являли собой бледное подобие того, что мы встретили в Мозжинке. Начальство местное на этот разгром не реагировало никак — то ли пребывало в шоке, то ли в спячке... Очнулось оно лишь к концу работы нашей школы, и тут грянул гром. Мгновенно возникла кипа актов, квитанций, счетов с внушительным количеством нулей. Все эти материалы на предмет возмещения убытков и ущерба, нанесенного пансионату разбушевавшимися школярами за время каникул, были предъявлены... руководством школы по молекулярной биологии. Никакие объяснения, никакие доводы, в том числе прямые улики в виде вырезанных перочинным ножом на казенной мебели или на стенах автографов, орфография коих с головой выдавала авторов, дирекцию не могли убедить. Она твердо решила «грехи молодости» списать за счет научных работников. Не входит же ей в конфликт с папами и мамами «академических» деток, — проще предъявить счет и взыскать с ученых... И пошли косяком служебные записки в Президиум и т. п.

Владимир Александрович, пребывая в своем разгромленном полулюксе, был в курсе событий, однако сохранял олимпийское спокойствие. Когда же из департамента управления делами у него попросили разъяснения по поводу «разбитых хрустальных люстр и зеркал в номерах» и т. п., Владимир Александрович нарушил нейтралитет и поехал в Академию. Возвратился он довольно быстро и пробурчал, что все в порядке. Позже он рассказал о том, как в кабинете управделами его встретил хор жалобщиков, наперебой гудящих о безобразиях, о сломанных фаянсовых урнах, побитых унитазах и, конечно же, о многострадальных хрустальных люстрах и зеркалах... Отступить было нельзя.

— Владимир Александрович, как же вы их успокоили?

— Я дождался паузы и стал подтверждать, что все, что случилось, — полнейшее безобразие и варварство и что зачинщиков следует строго наказать. Они охотно поддакивали, кивая головой. Вот тут-то я им объявил, что зачинщиком, видимо, следует считать меня, что урны громили члены-корреспонденты и два академика, доктора били стекла, а что касается автографов на стенах — их мог оставить наш зарубежный гость, не вполне владеющий русской орфографией. Что же касается люстры, то ее сломал я. А так как она висела высоко под потолком, мне пришлось взгромоздиться на стол и высоко подпрыгивать, размахивая длинной палкой... Я тут

же показал им, как это могло быть, и предложил им возбудить против меня уголовное дело... Кажется, мой рассказ вполне убедил, во всяком случае, сотрудников Президиума.

Так благодаря демаршу нашего «деда», как его иногда у нас называли, неприятный конфликт был исчерпан.

Макс Дельбрюк прилетел в Москву зимой 1969 г., вскоре после присуждения ему Нобелевской премии, и мы с нетерпением ждали его Нобелевской лекции. За несколько дней до назначенного срока поползли слухи об эксцессе, который якобы произошел на обеде в честь почетного гостя. Дело в том, что Дельбрюк обратился к коллегам с просьбой организовать ему встречу с его учителем и другом Николаем Владимировичем Тимофеевым-Ресовским или, на худой конец, помочь разыскать его. Поговаривали, что коллеги в ответ лишь молча пожимали плечами, испуганно переглядываясь, а сам президент Дельбрюку отказал, причем в весьма резкой форме. Добавляли еще, что оскорбленный отказом Дельбрюк покинул обед, а рассерженный президент строго предупредил сотрапезников о нежелательности встречи гостя с опальным «Зубром». Можно только гадать, что было на самом деле за обеденным столом...

Накануне лекции Дельбрюка Энгельгардт выглядел озабоченным, а его оттопыренная губа выражала решимость. В самом конце дня он попросил меня связаться по телефону с Николаем Владимировичем, пригласить его с супругой на лекцию, а завтра утром встретить их в холле, проводить сначала к себе, затем к нему в кабинет, куда к этому времени прибудет наш гость. Сам же он предполагал приехать к началу лекции.

С утра я уже был в институте и сразу же поднялся в дирекцию. В кабинете Энгельгардта я застал высокого, худого, молодежавшего, энергичного человека в очках на забавном носу туфелькой. Он деловито сворачивал в скатку свой пиджак и, судя по всему, намеревался расположиться на директорском диване. Подошедший Ю. Ф. Богданов объяснил, что гость наш вчера утомился на каких-то приемах, скверно спал ночью и действительно собирается вздремнуть. Ничуть не смущаясь нашим присутствием, Дельбрюк, подмигнув нам, свернулся калачиком и мгновенно заснул.



Нобелевский лауреат М. Дельбрюк в Москве.

Николай Владимирович с Еленой Александровной были пунктуальны. Я провел их к себе отдохнуть после электрички и принялся затевать кофе, а часа через полтора проводил в кабинет зам. директора Б. П. Готтиха, куда привел и слегка заспанного Дельбрюка. Увидев Зубра с Лелькой, он на миг остолбенел, затем высоко подпрыгнул, издав какой-то индейский боевой клич, и кинулся в объятия друзей. Затем корифеи принялись добросовестно выбивать пыль из пиджаков. Они хлопали друг друга по плечам, пояснице, тузили, отбегая в коротких паузах полюбоваться друг другом. Ведь расстались они в Берлине в конце 30-х годов, через несколько лет после завершения работы, которая, по сути дела, заложила фундамент молекулярной биологии. К сожалению, Даниил Гранин в книге о Зубре не нашел должного места ни этому эпизоду из жизни ученого, ни оценке этой работы, ставшей стимулом для ученика Дельбрюка — Дж. Уотсона, разделившего с Ф. Криком славу Нобелевского лауреата за открытие двойной спирали ДНК.

Энгельгардт появился в конференц-зале за несколько минут до начала лекции

с самым невозмутимым видом. После интересной, яркой лекции Дельбрюка, почему-то посвященной феномену Николая Коперника, Энгельгардт потчевал гостей в кабинете. Потом их порознь, соблюдая строгие правила конспирации, проводили к друзьям, где встреча завершилась крепким застольем. А роскошный кабриолет, присланный из Президиума за Дельбрюком, тем временем увозил референта Владимира Александровича (которая должна была отметить путевой лист), меня, в качестве «сопровождающего», и в качестве гостя... Жореса Медведева. У гостиницы, отметив путевой лист, отпустили машину и, убедившись в том, что она уехала, разошлись по домам. На следующий день Дельбрюк провел в институте весь день. Я сделал несколько беглых, слегка шаржированных набросков с него, которые ему понравились.

Насколько я помню, один из первых наших литературных вечеров был посвящен поэзии. Было это очень давно, в начале 60-х, задолго до возникновения в институте кафе под названием «Спираль» (имелась в виду, естественно, двойная спираль ДНК). Впоследствии такие вечера стали традицией.

Тогда замечательный актер и мастер декламации Вячеслав Сомов читал стихи Элюара, Превьера, незнакомых нам в ту пору турецких поэтов Орхана Вэли и Мелик Джавета, лирику Хикмета, а второе отделение целиком отвел поэзии Александра Блока. Читал он легко, свободно и необычайно просто, без какого-либо намека на аффектацию. Жесты его были скупы и сдержанны. Приняли Сомова тепло и долго не отпускали, покуда Владимир Александрович не увел его в свой кабинет, приглашая таинственными жестами и нас — инициаторов этого вечера.

За кофе Энгельгардт расспрашивал Сомова о его литературных пристрастиях, а потом попросил рассказать о его творческом пути и был поражен, вместе с нами, узнав о том, что на фронт в 42-м году Сомов уходил студентом третьего курса... биологического факультета, где собирался специализироваться по микробиологии, — а после фронта пошел на сцену. Узнав об особом пристрастии Владимира Александровича к поэзии Блока, Сомов, к общей радости, продолжил чтение его стихов. Он читал, не отдаваясь слепо ритму, а порой нарушая его, что делало интонацию более непосредственной и живой. Он завершил «третье» отделение концерта «Незнакомкой», которая в этот раз прозвучала как-то



встреча друзей. Слева направо: В. А. Энгельгардт, Н. В. Тимофеев-Ресовский, Л. А. Блюменфельд, Е. А. Тимофеева-Ресовская, М. Дельбрюк.

даже интимно... Мы сидели молча, словно в оцепенении, из которого нас вывел негромкий, спокойный голос Энгельгардта. Он ясно, четко и неторопливо декламировал мало кому знакомые строки:

Там дамы щеголяют модами,  
Там каждый лицеист остер,  
Над скукой дач, над огородами,  
Над пылью солнечных озер.  
Туда манит перстами алыми  
И дачников волнует зря  
Над запыленными вокзалами  
Недостижимая заря.  
Над толстыми пивными кружками,  
Над сном привычной суеты,  
Сквозит вуаль, покрытый мушками,  
Глаза и мелкие черты...

Мы слушали, пораженные. Сомов застыл, шевеля губами. А Владимир Александрович продолжал свободно, словно обращаясь к самому себе:

Чего же жду я, очарованный  
Моей счастливою звездой  
И оглушенный и взволнованный  
Вином, зарею и тобой?

Вздыхая древними поверьями,  
Шелками черными шума,  
Под шляпой с траурными перьями  
И ты вином оглушена!  
Средь этой пошлости таинственной  
Скажи, что делать мне с тобой,  
Недостижимой и единственной,  
Как вечер дымно-голубой?

Владимир Александрович медленно опустился в кресло и, пригубив кофе, с довольным видом откинулся, хитро улыбаясь гостю.

— Как?! Вы знаете и этот вариант? — удивился Сомов.

— Мне думается, что это не вариант, а просто другое стихотворение, начатое в Озерках в 1906 г., одновременно с «Незнакомкой», и завершенное в 1911 г. Оно лаконичнее и... не о том.

На этот раз был поражен Сомов.

Много раз впоследствии мне доводилось слушать Владимира Александровича, но впечатление от его чтения в этот вечер осталось навсегда. А Вячеслава Сомова провожали букетами махровой сирени, помещенными в лабораторные колбы, — сувенир несостоявшемуся коллеге...

## СОВРЕМЕННОКИ ОБ ЭНГЕЛЬГАРДТЕ



*"Его интимная духовная жизнь, лаборатория его мысли оставались тайной для окружающих, и мы не знаем в точности, как возникали его обобщения, каким способом он выбирал пути исследования, как оценивал ситуации и факты".*

Баев А.А.

(Воспоминания о В.А.Энгельгардте. М., 1989. С 35.)

С Александром Александровичем Баевым.

*"Мой долг сказать, что я вернулся к жизни и науке в значительной мере, даже исключительно, благодаря вмешательству Владимира Александровича. Это стоило ему больших хлопот в течение 10 лет, с 1944 по 1954 г., и происходило в три этапа... Все то, что сделал Владимир Александрович, не имеет аналогий, по крайней мере моя память не хранит других примеров подобного рода. Никогда он не объяснял, почему и для чего он пережил, как нетрудно догадаться, много неприятных минут. Он никогда не говорил об этом, хотя я отдаю себе отчет в том, что в наших отношениях были моменты, когда иной на его месте напомнил бы об этих событиях, даже упрекнул бы".*

Баев А.А.

(Там же. С.44-46.)





С Михаилом Владимировичем Волькенштейном.

"...Еще не будучи старым, на каком-то этапе Владимир Александрович пришел к заключению, что ему не нужно больше продолжать экспериментальную работу. Он поставил перед собой очень крупную задачу: создать отечественную молекулярную биологию. Был создан институт, образован совет, учрежден журнал, и это совершенно непреходящие заслуги, которые имеют, может быть, не меньшее значение, чем чисто научные успехи. Мало кто мог бы решиться на то, чтобы прекратить свою личную экспериментальную работу, будучи экспериментатором по призванию, ради большой задачи".

Волькенштейн М.В.  
(Там же. С.22-23.)

С Сергеем Евгеньевичем Севериным.

"Для студентов, слушавших лекции в старой аудитории кафедры биохимии Московского университета на Моховой, их имена были неразрывны. Какой ценой создавали они отгороженный от мрачной действительности мир? На какие компромиссы шли? Наученные жестким опытом жизни, пережившие репрессии и гибель друзей и близких, наши учителя не спорили с властями, не противились, пока это было бесполезно. Но как только пресс мракобесия чуть ослаб, они первыми кинулись в бой против лженаучности. Главным для них было - забота об отечественной науке, стремление преодолеть ее отставание".

С.Э.Шноль





*"Сама элегантная внешность Энгельгардта, его изящные манеры, благородство, свободное владение английским, французским и немецким языками напоминали аристократа из "Анны Карениной".*

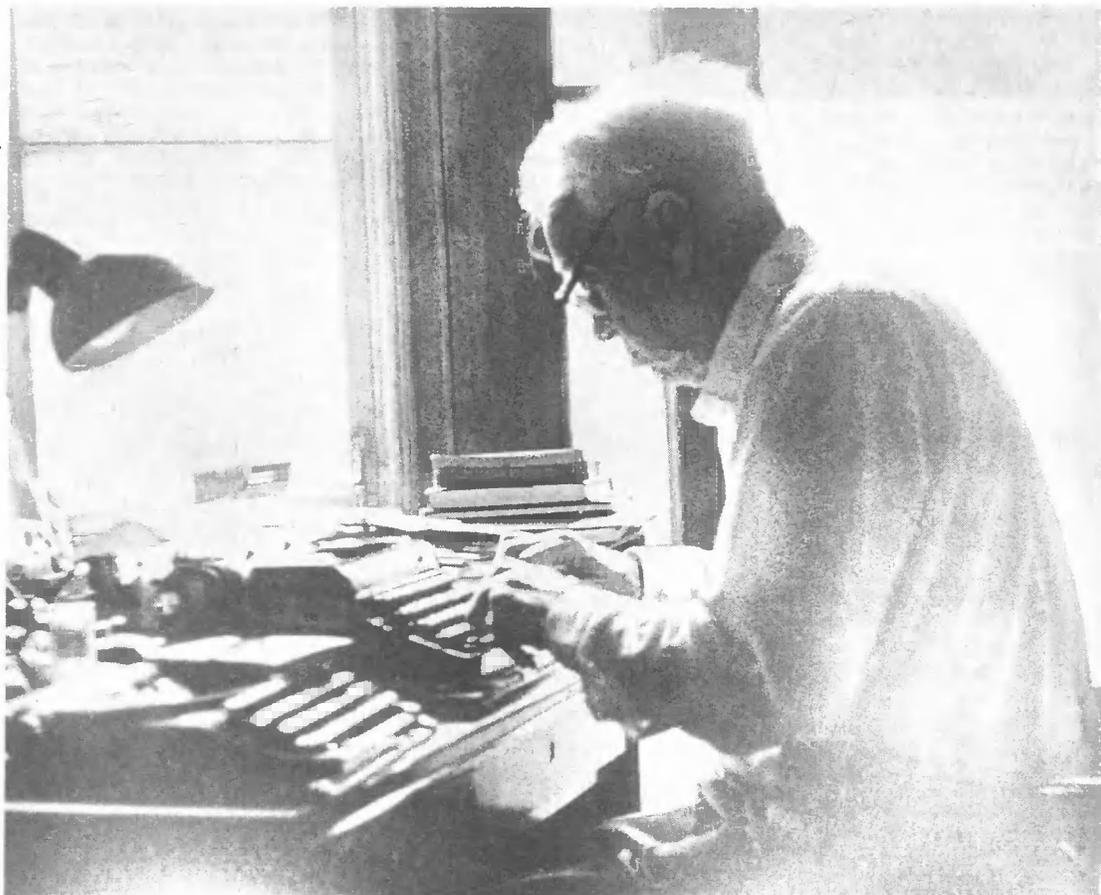
*Перуцц М. Ф.*

(Воспоминания о В.А.Энгельгардте. М., 1989. С. 220.)

*"Владимир Александрович уединялся в своем кабинете, и мы слышали только стук его портативной пишущей машинки, которой он постоянно пользовался, так как неразборчивый почерк стал трудным даже для него самого".*

*Баев А.А.*

(Там же. С.35.)





С Андреем Львовичем Курсановым.

*"В официальной обстановке он держался просто, но с достоинством... В то же время в приватной обстановке Владимир Александрович мог быть другим: интересным собеседником, гостеприимным хозяином... он обладал своим особым юмором, который умел сочетать с невозмутимой серьезностью".*

*Курсанов А.Л.  
(Там же. С.114.)*



Милицей Николаевной Любимовой.

*Привлекательной была их гармоничность, я бы сказала, их "парность" - мягкий, остроумный, контактный Владимир Александрович и более сдержанная, но внимательная к любому его проявлению Милица Николаевна. Мы знали, что они вместе работают, но и вне работы чувствовалось, что Милица Николаевна берет на себя какую-то часть жизни Владимира Александровича".*

*Капица А.А.  
(Там же. С.263.)*

# Теория актора-катализатора по-прежнему актуальна

**К. А. Кафиани-Эристави,**

доктор биологических наук  
Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН  
Москва

**С**ОГЛАСНО ТЕОРИИ «актора-катализатора» В. А. Энгельгардта, белок, составляющий существенный структурный элемент данного функционального аппарата живой клетки, может одновременно быть и ферментом, каталитическая активность которого обеспечивает его физиологическую функцию. В случае, который рассматривали Владимир Александрович Энгельгардт и его жена, Милица Николаевна Любимова, это была функция движения, один из главных атрибутов жизни.

Миозин — основной фибриллярный компонент мышечной ткани, который энзимологи в те времена отбрасывали вместе с другими нерастворимыми белками мышечной ткани, как неинтересный для энзимологов остаток, обнаружил аденозинтрифосфатазную (АТФазную) активность! Катализируя реакцию расщепления богатой энергией (макроэргической) пирофосфатной связи в универсальном аккумуляторе биохимической энергии — аденозинтрифосфате (АТФ), макромолекула миозина в составе актомиозинового комплекса, по представлениям Энгельгардта, претерпевает циклические конформационные превращения, приводящие к развитию напряжения и механическому движению мышцы. В этом заключается биологический смысл понятия «механохимия»: один из структурных белков, отвечающих за работу мышцы, является ферментом, добывающим энергию для этой работы.

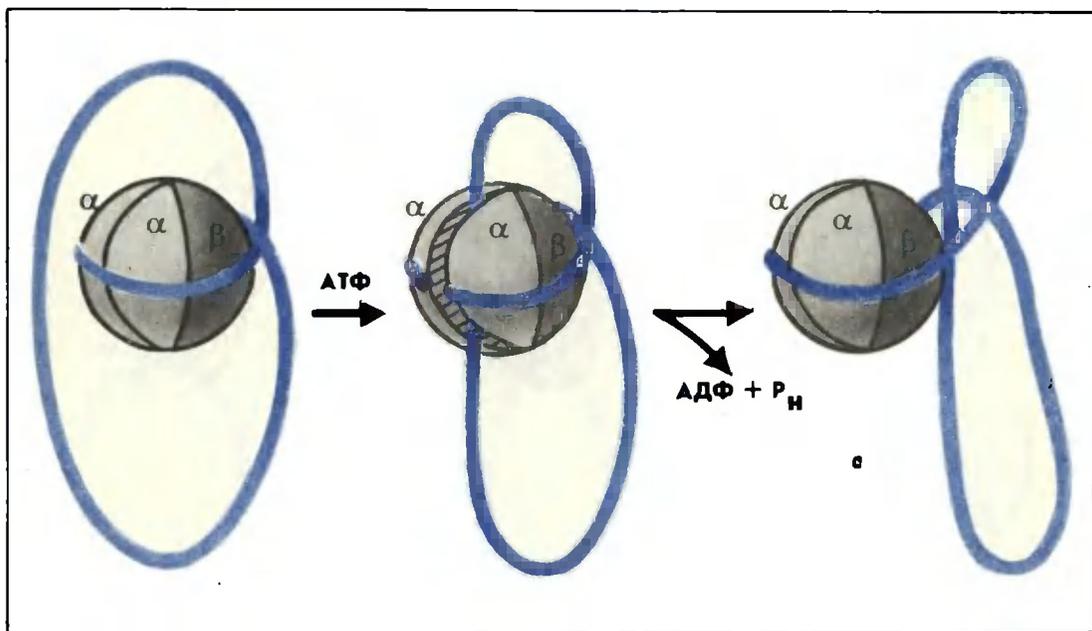
Открытие ферментативной активности у структурного белка мышцы, наряду с предыдущим — открытием механизма окислительного фосфорилирования, при котором генерируется АТФ, вошло в список наиболее важных событий в биологической химии. А создание теории актора-катализатора можно считать началом молекулярной биологии как науки, так как молекулярная биология есть не что иное, как расшифровка явлений жизни на молекулярном уровне.

Последующие годы принесли ряд крупных открытий, начиная с открытия двойной спирали ДНК. Авторы многих из них стали нобелевскими лауреатами, среди которых, к прискорбию, нет имени В. А. Энгельгардта. А между тем универсальность теории актора-катализатора и принципа механохимии в биологии нашла новые подтверждения: в генетическом аппарате за счет энергии АТФ развивается механическое напряжение и перемещения ДНК. Молекулярный механизм этих явлений аналогичен тем, которые послужили Энгельгардту основанием для формулировки теории актора-катализатора. А именно, один из главных структурных белков генетического аппарата оказался ДНК-зависимой АТФазой, осуществляющей движения ДНК за счет свободной энергии АТФ. Естественно, эта аналогия в конкретном молекулярном смысле — внешняя, но в ней, несомненно, заложен глубокий физический и биологический смысл.

Среди ферментов, участвующих в работе наследственного аппарата на уровне ДНК, заметное место принадлежит ДНК-топоизомеразам, влияющим на конформацию и энергетику этой молекулы. Иными словами, такие ферменты катализируют образование топоизомеров — химически идентичных форм ДНК, отличающихся своей третичной (пространственной) структурой. Их существование было обнаружено еще в 1965 г. Дж. Виноградом при изучении ДНК вируса полиомы<sup>1</sup>. Оказалось, что ДНК вируса в виде ковалентно замкнутых кольцевых молекул находится в клетке во многих вариантах (топоизомерах), отличающихся степенью суперспирализации.

Двойная спираль ДНК не только вирусов, но и вообще всех организмов, в свою очередь, закручена в спираль более высокого порядка: продольная ось двойной спирали ДНК в хромосомах про- и эвкариот,

<sup>1</sup> Vinograd J., Lebovitz J., Radloff R. et al. The twisted circular form of polyoma viral DNA // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1965. V. 53. N 5. P. 1104—1111.



Модель переноса цепи ДНК в топоизомеразной реакции типа II: нить ДНК, находящаяся в комплексе с ферментом (слева), разрывается и «ДНК-ворот» открываются при участии АТФ (в центре); при гидролизе АТФ (выделение АДФ и неорганического фосфора, P<sub>н</sub>) «ДНК-ворот» закрываются и первичная структура ДНК восстанавливается (справа). Топологический переход ДНК завершается.

во внутриклеточных органолах и плазмидах — не прямая, а изогнута винтом, ДНК суперспиральна. Бывает положительная суперспирализация, когда знак (направление) этого винта совпадает со знаком первичной уотсон-криковской спирали. Однако чаще всего ДНК суперспирализована отрицательно, но в обоих случаях она находится в напряженном состоянии, которое характеризуется «свободной энергией суперспирализации».

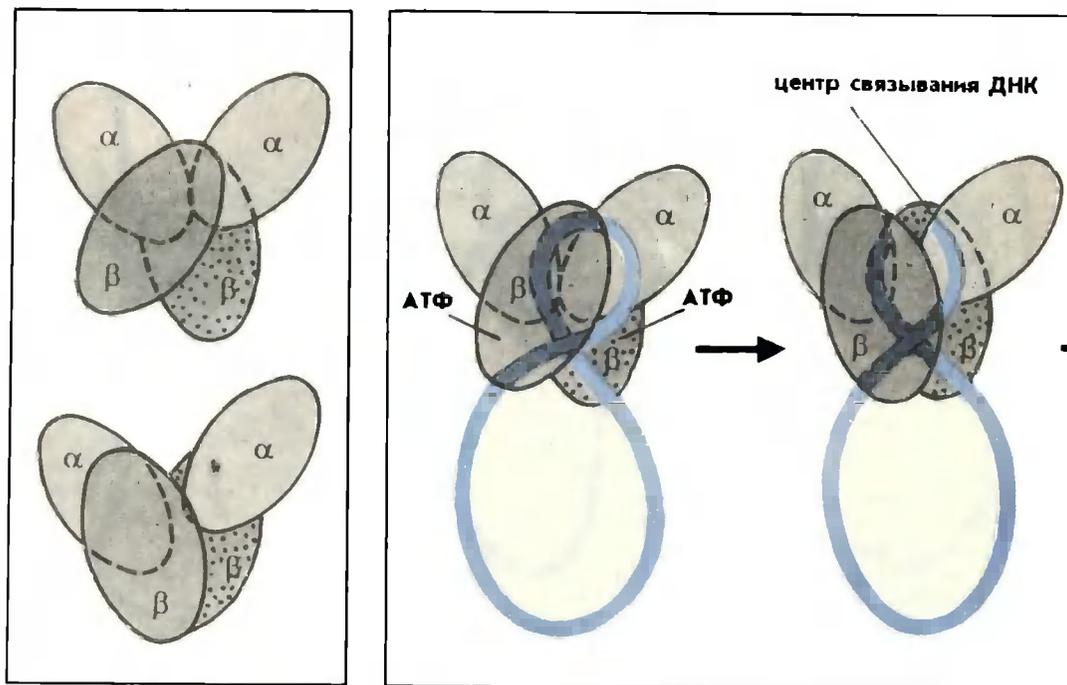
Отрицательно суперспирализованное состояние благоприятствует плавлению (расхождению) цепочек первичной спирали) ДНК. В таком виде она более реакционноспособна, склонна взаимодействовать с молекулами, уменьшающими избыток свободной энергии. В их число входят ферменты, участвующие в синтезе ДНК, исправлении ее дефектов (ферменты репарации), рекомбинации ДНК; ферменты, считывающие заключенную в ДНК информацию (РНК-полимеразы), а также регуляторные (репрессоры и белки-активаторы) и структурные белки (гистоны). Всякий агент, влияющий на свободную энергию суперспирализации

ДНК, может выполнять важные генетические функции, так как репликация, репарация, рекомбинация ДНК и транскрипция в подавляющем большинстве случаев прямо зависят от знака и степени суперспирализации ДНК. К таким агентам принадлежат и ДНК-топоизомеразы.

Существуют ДНК-топоизомеразы двух типов — I и II. Последние, как и миозин, совершают механическую работу за счет энергии АТФ, получаемой в ДНК-зависимой АТФазной реакции. Кстати, ведь и миозин — АТФаза, активность которой зависит от контакта со вторым главным структурным белком мышцы — актином, необходимым помощником в механической работе!

ДНК-топоизомераза типа II, открытая у бактерий, была названа ДНК-гиразой, что означает «крутящая»<sup>2</sup>. Этот сложный белок состоит из четырех симметрично расположенных субъединиц, 2α и 2β (их называют белок А и белок В), которые кодируются соответственно, двумя разными генами (gyrA и gyrB). Каталитическая активность α- и β-субъединиц ДНК-гиразы различна: белок А (мол. масса ~97 кДа) выполняет функции разрыва-воссоединения фосфодиэфирной связи в сахарофосфатном остове ДНК, а белок В (мол. масса ~90 кДа)

<sup>2</sup> Gellert M., Mizuuchi K., O'Dea M.H., Tomizawa J. DNA gyrase: an enzyme that introduces superhelical turns into DNA // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1976. V. 73. N 11. P. 3872—3876.



Возможные конформационные состояния ДНК-гиразы (слева) и ее комплексов с ДНК по результатам электронной микроскопии. Слева и справа: петля ДНК находится между двумя  $\beta$ -субъединицами гиразы (фермент в «закрытом состоянии»), которые связываются с двумя молекулами АТФ; двухцепочечная нить ДНК разрывается и  $\alpha$ -субъединицы гиразы рас-

крываются; меняется конформационное состояние фермента, что сопровождается переносом сегмента ДНК через образовавшуюся брешь в ее цепи, ковалентно связанной с  $\alpha$ -субъединицами гиразы; гидролиз АТФ стимулирует освобождение ДНК от  $\alpha$ -субъединиц, контакт  $\alpha$ - $\alpha$  и разорванная цепь ДНК восстанавливаются; ДНК-гиразная реакция завершается с

является ДНК-зависимой АТФ-азой<sup>3</sup>. Впрочем, разные субъединицы свойственны не всем топоизомеразам типа II. Так, у пекарских дрожжей этот фермент состоит из двух одинаковых субъединиц по 170 кДа, но в пределах каждой из них имеются все те же активные центры, что и в сумме  $\alpha$ - и  $\beta$ -субъединиц ДНК-гиразы<sup>4</sup>. Однако топоизомераза II дрожжей способна ко всем реакциям гиразы, кроме суперспирализации.

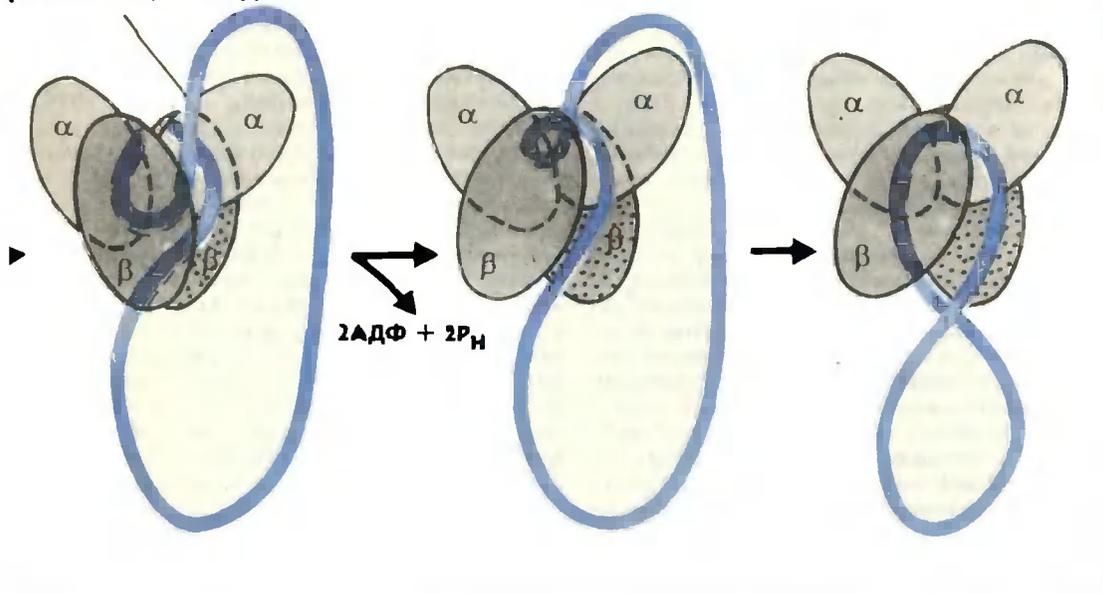
В ходе суперспирализации  $\alpha$ -субъединицы разрывают фосфодиэфирную связь в сахарофосфатном остове каждой из двух полинуклеотидных цепей ДНК, ассоциированных с гиразой, перенося свободный фос-

форил, возникший в месте разрыва цепи, на остаток тирозина. При этом свободная энергия межнуклеотидной связи сохраняется в фосфотирозиновой связи между ДНК и белком А. После серии конформационных превращений комплекса  $\alpha$ -субъединицы расходятся и, поскольку конец одной из двух цепей ДНК ковалентно связан с белком А, фермент как бы раскрывает «ДНК-ворота», и целый сегмент ДНК проходит через них. На завершающем этапе гиразной реакции «ДНК-ворота» закрываются, сближая друг с другом разорванные концы ДНК. Целостность сахарофосфатного остова восстанавливается благодаря переносу фосфорила с фосфотирозина белка А обратно на место временного разрыва цепи ДНК. При этом свободная энергия фосфодиэфирной связи почти не теряется. Однако на каждый цикл гиразной реакции расходуется два эквивалента макроэргической связи АТФ: на конформационные превращения комплекса, т. е. на взаимные перемещения белковых деталей топоизомеразного комплекса, приводящие к кручению молекулы

<sup>3</sup> Кафиани (Эрстави) К. А., Бронштейн И. Б. ДНК-топоизомеразы и механизм действия антинеопластических соединений // Успехи современной биохимии / Ред. Поглазов Б. Ф. М., 1988. С. 84—112; Reese R. J., Maxwell A. DNA gyrase: structure and function // Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 1991. V. 26. N 3/4. P. 335—375.

<sup>4</sup> Goto T., Wang J. C. Yeast DNA topoisomerase II // J. Biol. Chem. 1982. V. 257. N 6. P. 2866—2872.

### Механизм переноса ДНК



образованием нового супервитка. Таким образом, сопряжение с гидролизом макроэргической пирофосфатной связи АТФ обеспечивает энергией механические перемещения субъединиц фермента и связанных с ними сегментов ДНК [по: Kirkhausen T., Wang J. C., Harrison S. C. // Cell. 1985. V. 41. N. 3. P. 933—943].

ДНК, или на механическую работу с участием ДНК.

Таким образом, реакция гиразы с ДНК с химической точки зрения есть серия перемежающихся актов разрыва-воссоединения фосфодиэфирных связей в ДНК и в  $\alpha$ -субъединице фермента, сопряженных с разрывом макроэргической связи АТФ, который катализируется каждой из  $\beta$ -субъединиц. С механической же точки зрения ДНК-гиразная реакция состоит из циклически повторяющихся взаимных перемещений белковых деталей комплекса.

Итак, основное событие топоизомеразной реакции типа II — это перенос отрезка двухцепочечной ДНК сквозь временный разрыв в другом отрезке ДНК. Результатом такого переноса может быть ряд биологически важных топологических превращений ДНК; расщепление, или декатенация (от catena — цепь), топологически зацепленных кольцевых молекул дуплексной ДНК (хромосом бактерий или эукариот, внутриклеточных органелл, плазмид или вирусов) или обратный процесс — кате-

нация: развязывание «заузленной» ДНК некоторых бактериофагов, раскручивание суперспиральной ДНК (релаксация) и, наконец, повышение степени ее суперспирализации. Все процессы, кроме введения супервитков, могут катализироваться топоизомеразами II любых организмов и тоже связаны с конформационными изменениями комплекса топоизомеразы-ДНК. Иначе говоря, эти ферменты эукариот (и гираза) работают как механохимические машины.

Появление супервитков, как правило, приводит к кручению молекулы ДНК в направлении, обратном направлению первичной спирали, т. е. фактически — к раскручиванию, или пре-плаванию, двойной спирали ДНК. Поскольку ДНК сопротивляется кручению, в нее как бы накачивается свободная энергия суперспирализации. Эта энергия того же характера, что потенциальная энергия деформируемой пружины, и ее часто обозначают как упругое или торсионное напряжение ДНК. Суперспиральная ДНК, фигурально выражаясь, дышит как живая, и это находит свое функциональное проявление.

Аналогия между миозином и ДНК-топоизомеразами типа II распространяется дальше. Иммунохимические исследования хромосом бактерий, дрожжей и животных показали, что топоизомераза II составляет существенную долю белка каркаса хромо-

сомы, как и миозин — каркаса мышцы. Протяженные участки хромосомной ДНК образуют топологически независимые петли (топологические домены), которые прикрепляются молекулами фермента к остову хромосомы, как якорями<sup>5</sup>. Каждая такая молекула управляет степенью суперспирализации и, тем самым, энергетикой ДНК в пределах «своего» домена. Так, хромосома кишечной палочки содержит около 50 таких доменов<sup>6</sup>, тогда как число единиц генетико-биохимического управления, «оперонов» Ф. Жакоба и Ж. Моно, у кишечной палочки гораздо больше<sup>7</sup>. Поэтому модель управления активностью генетического аппарата через энергетическое состояние доменов хромосомной ДНК при участии топоизомеразы II имеет более глобальный характер, чем оперонная модель, и создает возможность «дистантного» управления активностью генов<sup>8</sup>. На биологическую необходимость «над-оперонного» управления указывает наличие гомеостатической регуляции суперспирализации ДНК в бактериальной клетке.

Как было сказано, наряду с топоизомеразой II существуют и ДНК-топоизомеразы типа I. Они способны только снимать суперспиральное напряжение (релаксировать ДНК), используя для реакции разрыва-воссоединения цепи ДНК свободную энергию суперспирализации; поэтому топоизомераза I не нуждается в энергии АТФ. Генетические наблюдения показали: чтобы клетка оставалась жизнеспособной, недостаток в клетке топоизомеразы I должен компенсироваться недостатком активности ДНК-гиразы. В опытах *in vitro* синтез матричных РНК для обеих субъединиц гиразы активировался при релаксации ДНК, содержащей гены  $\alpha$ - и  $\beta$ -субъединиц<sup>9</sup>.

Репликация тоже начинается в месте прикрепления ДНК к хромосомному каркасу и происходит благодаря ее «протягиванию» через репликационный комплекс; это также АТФ-зависимый процесс. В ре-

зультате полуконсервативной репликации образуются нековалентно связанные, топологически зацепленные дочерние двойные спирали или кольцевые двухцепочечные молекулы ДНК, например плазмид или вирусов. Их разделение (расщепление) в принципе невозможно без временного разрыва хотя бы одной из дочерних молекул ДНК. Именно это соображение было камнем преткновения для теории полуконсервативной репликации длинных молекул ДНК и послужило стимулом к поиску ферментов, способных катализировать эти столь необходимые реакции разрыва-воссоединения цепей ДНК. Оказалось, что расщепление новообразованных дочерних молекул осуществляется ДНК-топоизомеразой II как в случае ДНК-вирусов, так и в случае хромосом прокариот и эукариот. Кроме того, этот фермент участвует в образовании компактной структуры хромосом, что необходимо для митоза и мейоза. Таким образом, ДНК-топоизомеразы II выполняют такие жизненно важные функции, как удвоение ДНК и разделение дуплексов. Без топоизомераз типа II ни вирусы, ни дрожжи, ни, как мы выяснили, клетки гризунов не размножаются<sup>10</sup>.

Как мы увидели, в основных генетических процессах необходимы различные чисто механические движения главного субъекта генетического аппарата — ДНК: они могут быть продольными (переносы вправо-влево, протягивание, или тракция) и вращательными (скручивание-раскручивание). Почти все эти движения сопряжены с гидролизом АТФ, катализируемым структурными белками генетического аппарата.

Итак, сформулированная В. А. Энгельгардтом для мышечного аппарата теория об акторе-катализаторе — структурном белке, который сам обеспечивает себя энергией, — актуальна и для функций ДНК. Вот почему эту теорию было бы справедливо отнести к наиболее важным обобщениям современной биологии.

<sup>5</sup> Earnshaw W. C., Heck M. M. Localization of topoisomerase II in mitotic chromosomes // *J. Cell Biol.* 1985. V. 100. N 9. P. 1706—1799.

<sup>6</sup> Snyder M., Drlica K. DNA gyrase on the bacterial chromosome: DNA cleavage induced by oxolinic acid // *J. Mol. Biol.* 1979. V. 131. N 2. P. 287—302.

<sup>7</sup> Кафиани (Эристави) К. А. Теория внутриклеточной регуляции // *Природа*. 1966. № 3. С. 61—64.

<sup>8</sup> Luchnik A. N. Long-distance signal transfer in transcriptionally active chromatin — how does it occur? // *BioEssays*. 1989. V. 3. N 6. P. 249—252; Wang J. C., Gaijever G. N. Action at a distance along a DNA // *Science*. 1988. V. 240. N 4850. P. 300—304.

<sup>9</sup> Menzel R., Gellert M. Regulation of the genes for *E. coli* DNA gyrase: homeostatic control of supercoiling // *Cell*. 1983. V. 34. P. 433—440.

<sup>10</sup> Sundin O., Varshavsky A. J. Arrest segregation leads to accumulation of highly intertwined catenated dimers: dissection of the final stages of SV40 DNA replication // *Cell*. 1981. V. 25. N 1. P. 659—669; Kafiani (Eristavi) C. A., Bronstein I. B., Timofeev A. V. et al. DNA topoisomerases and regulation of cell proliferation // *Adv. Enzyme Regulation* / Ed. G. Weber. N. Y., 1986. V. 24. P. 439—456; Holm C., Goto T., Wang J. C. DNA topoisomerase II is required at the Time of mitosis in yeast // *Cell*. 1985. V. 41. P. 553—563.

# Здоровье Валдая

М. Ю. Зубрева



Марина Юзефовна Зубрева, редактор отдела географии и океанологии, член редакционной коллегии журнала «Природа». Географ по образованию, более 20 лет работает в нашем журнале научным редактором и заведующим отделом наук о Земле. Автор нескольких статей и интервью в «Природе».

**В** ОТЕЧЕСТВЕННЫХ энциклопедиях, кроме Валдая — города в Новгородской области, упоминаются еще Валдайская возвышенность в северо-западной части Европейской части России, разделяющая верховья Волги, Западной Двины и некоторых других рек; Валдайское оледенение, 70—11 тыс. лет назад покрывавшее Восточно-Европейскую равнину; ну и, конечно, Валдайское озеро со знаменитым Иверским монастырем на Рябиновом острове. Любители старины вспомнят и звонкие ямские валдайские колокольчики, а может быть, и не менее известные некогда баранки.

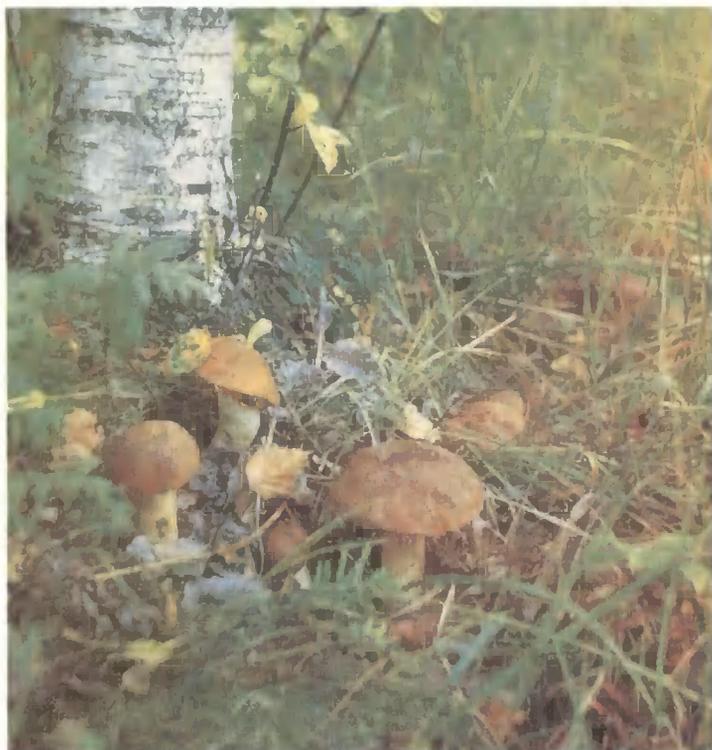
Ямских троек нынче в Валдае не увидишь, а жаль! Колокольчики имеются в продаже только за городом — в доме отдыха «Валдай» бывшего 4-го управления, на рыночной площади полно «челноков», торгующих не кренделями, а «Сникерсами» и китайско-корейской всячиной. Холодным дождливым июнем 1994 г. в Валдае пусто-вато; немногочисленные приезжие изредка забредают в единственный в городе музей, что в церкви Св. Екатерины, — музей колокольчиков, он же краеведческий. Туристам не позавидуешь: к воде не тянет, а здесь основное развлечение — озеро, оно же — основа жизни города.

Я приехала в Валдай на совещание гляциологов, на котором, правда, проблемы валдайского оледенения не обсуждались, и не было бы этих заметок о Валдае, не случись гляциологическое совещание в помещении Валдайского филиала Государственного гидрологического института (ГГИ) Роскомгидромета (Санкт-Петербург). Директор филиала метеоролог С. В. Марунич порекомендовал мне поговорить со старшим научным сотрудником филиала И. В. Недогарко. Он руководит озерной группой, официально именуемой «гидроэкологической», так как в Гидрологическом институте тематика должна соответствовать профилю.



Иверский монастырь.

Залив оз. Валдай.



Грибные дары валдайского леса.

Участок пога Таежного.

Фото М. В. Глазова



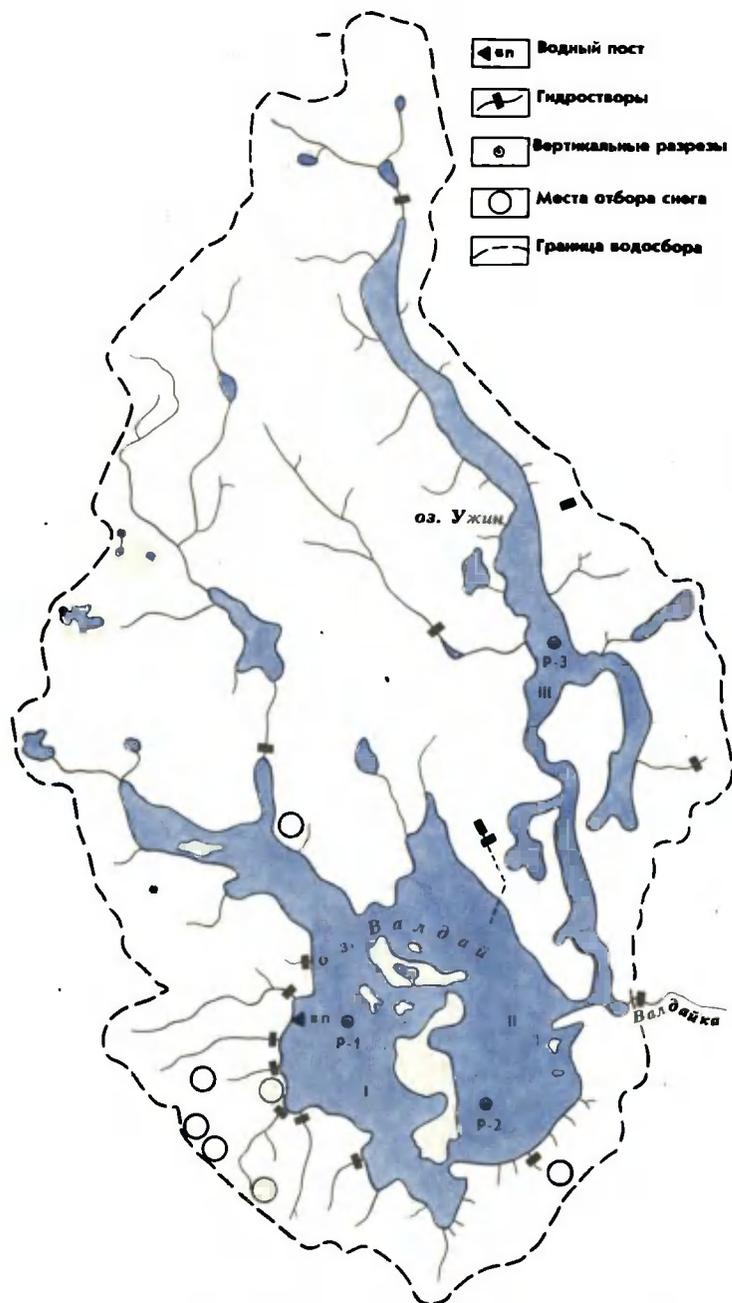


Схема размещения пунктов наблюдения Валдайского филиала ГГИ на озерах Валдай и Ужин. Римскими цифрами отмечены три плеса Валдайского озера. P-1, P-2, P-3 — вертикальные разрезы, на которых ведутся исследования водной толщи.

### ЦЕЛЫХ ДВА ОЗЕРА

Традиционно Валдайским озером называют два водоема — собственно Валдай и оз. Ужин (от слова «узкий»). В озеро впадают 50 ручьев и временных водотоков, а вытекает единственная речка Валдайка, в истоке которой устроена плотина, регулирующая

уровень воды. У оз. Валдайского — три плеса (залива): первый — городской (он тянется от города Валдай до монастыря на самом крупном из 12 островов — Рябиновом), второй — восточный — и третий, когда-то соединявшийся с собственно Валдаем речкой, а ныне еще и «укопкой» для прохода транспорта — оз. Ужин. Общая площадь зер-

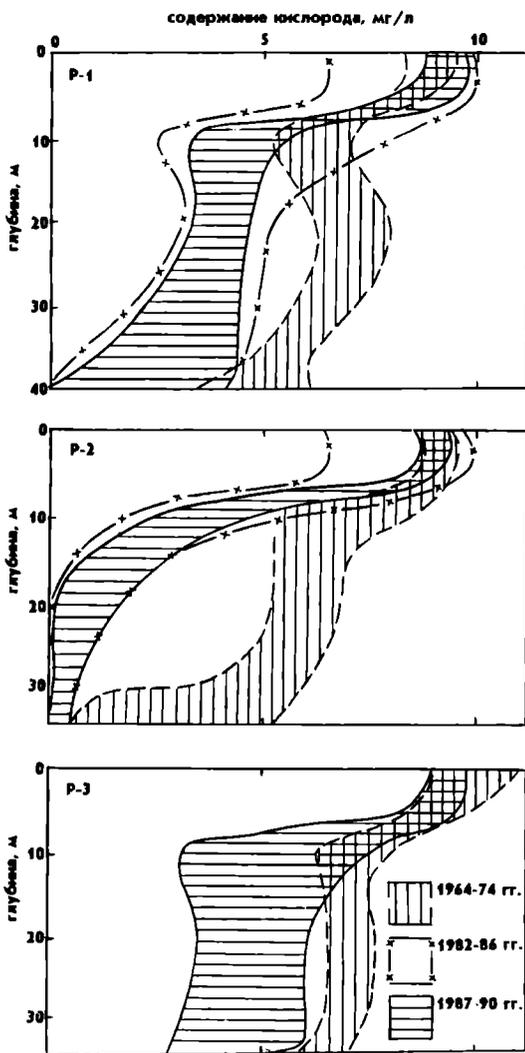
кала — 30 км<sup>2</sup> (Валдая — 20 км<sup>2</sup>), а общего водосбора — 155.5 км<sup>2</sup>.

Естественно, что основная антропогенная нагрузка приходится на застроенный первый плес озера. Здесь и располагается город Валдай с населением 20 тыс. человек.

Озеро имеет доледниковое происхождение (оледенений здесь было три: Московское, Днепровское и Валдайское), наследуя дочетвертичную котловину. Древнее русло некогда прорезало карбонный уступ, а затем было подпружено ледниковыми отложениями. Валдайское оледенение озеро пережило в виде глыбы мертвого льда — потому у озера при отвесных берегах (особенно хорошо заметных у Ужина) сохранились глубины примерно до 60 м. К этому нужно добавить до 10 м донных отложений, т. е. изначально глубина котловины доходила до 70 м. Если бы котловина была заполнена водой, при отступлении ледника она бы заплыла. А поскольку мертвый лед вытаскивал постепенно, базис эрозии понижался несколько раз (т. е. уровень озера был выше прежнего). И перемывался водосборный бассейн несколько раз. Радиоуглеродные датировки донных отложений показали, что их возраст — 13 тыс. лет. Сотрудниками филиала вместе со специалистами из петербургского Института озероведения РАН была изучена 7-метровая колонка иловых отложений Валдайского озера. Диатомовый и спорово-пыльцевой анализы, а также сравнение с контрольными колонками из других озер позволили определить период, когда в озере стали накапливаться органические отложения, сменившие первичные минеральные.

Человек начал осваивать водосбор озера 3—2 тыс. лет назад, о чем свидетельствуют археологические находки. Активно обустривать берега стали при строительстве Иверского монастыря, основанного патриархом Никоном в 1653 г. (Город же, вернее, село, Валдай упоминается в летописях уже в XV в.) В колонке донных отложений прослеживаются пики эрозионных процессов антропогенного происхождения — результат сведения лесов и распашки водосборов: на фоне стабилизации органических отложений наблюдается увеличение выноса минеральных. Первый пик приурочен к XIX в. — тогда, после отмены крепостного права, начали распахивать остатки еще не использованных земель; второй (кстати, меньший) — к 30-м годам нашего столетия, периоду коллективизации. Здесь уже шла распашка больших площадей тракторами.

Исследователи никогда не обходили вниманием Валдайское озеро. Еще в 1905 г.



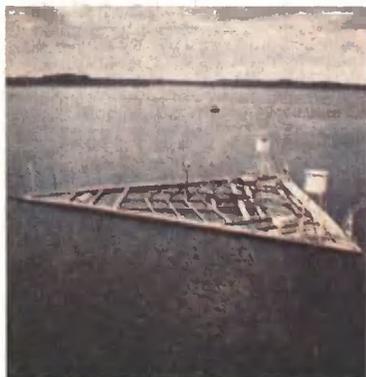
Интервалы колебаний минимального содержания кислорода на вертикальных разрезах (P-1, P-2, P-3, показанных на схеме) озер Валдай и Ужина.

обнаружили, что содержание кислорода в придонных слоях на глубине 30 м составляет в марте — апреле 10 мг/л, т. е. очень много для этого времени года. На этом основании считали, что озеро относится к олиготрофным водоемам, бедным фитопланктоном и питательными веществами<sup>1</sup>. Позже пришли к выводу, что озеро скорее мезотрофно, и это более справедливо для такой

<sup>1</sup> Природные водоемы или их участки разделяются по степени кормности (трофности) в зависимости от уровня их первичной продукции, а также численности и биомассы фитопланктона, количества биогенных веществ и других показателей.



Вид с озера на здание Валдайского филиала ГГИ.



Экспериментальный плот на озере.

зрелой (13 тыс. лет) системы с огромным водосбором.

В 1925 г. на Валдае проведен ряд исследований озерных организмов и озерных отложений — это было время сапропелевых комитетов. (Кстати, оно возвращается, поскольку границы государства сузились и мы опять обращаемся к богатствам внутренних водоемов. Сапропели — это и удобрение, и бальнеологическое сырье.) Любопытно, что в 1925 г. в озере не было обнаружено харовых водорослей, обычно развивающихся в водоемах с известковым водосбором, — эти водоросли как раз и извлекают из воды карбонаты. Сейчас харовые водоросли — одни из определяющих в водоеме: на них приходится 25—30 % биомассы.

В 30-е годы на Валдае работали гидробиологи, сотрудники Косинской станции ГОСНИОРХа, лимнолог Л. П. Россолимо. Его группа вернулась на Валдай в 1965 г. и разработала концепцию развития жизни в озере по макрофитному типу — когда крупные сосудистые растения, живущие под водой и в воде, забирают попавший в водоем фосфор и сдерживают развитие фитопланктона, предоставляя, таким образом, возможность для жизни всех остальных организмов в озере.

Эта концепция стала классической в 60—70-е годы. В это время город стал благоустраиваться: появились коммунальные удобства, по газопроводу пошел газ, появилась горячая вода, а стоки стали сбрасывать в озеро, что способствовало процессу эвтрофикации.

### «ЗАСТЫВШЕЕ НАД ПРОПАСТЬЮ»

Эвтрофикация — повышение уровня первичной продукции водоема — зависит от поступления в него биогенных элементов, главным образом фосфора и азота. Они попадают в озера со смывами удобрений с полей, а также с промышленными и коммунальными стоками. Естественно, что со временем усиливалась и эвтрофикация Валдая. К тому же в воду поступают и другие загрязнения: тяжелые металлы, пестициды, тиофосфорная кислота и др. Все это не может не сказаться на озерной экосистеме.

Ее ухудшение выразилось, например, в 1985 г. в появлении рыбы с «оплавленными» плавниками, и некоторыми другими повреждениями покровов<sup>2</sup>. Постепенно снижалось содержание кислорода в придонном слое. По данным наблюдений, это происходило и в 60-е, и в 70-е годы, в 1982—1986 гг. С 1987 г. положение с кислородом не ухудшалось, но и не улучшилось. В 1986 г. прозрачность озера вдруг уменьшилась до 1,5 м (обычно она составляет 3,4 м). Во второй раз это произошло в 1991—1992 гг. Понемногу росла и концентрация в воде хлорофилла а — общего показателя роста фитопланктона. В 1988 г. (это был маловодный

<sup>2</sup> Существует точка зрения, что озеро было отравлено попавшими в него химическими веществами, предназначенными для «чистки» малых водоемов, куда заселяли карпа.

год) казалось, что этот процесс стабилизировался, а во влажном 1989 г. он вновь усилился. Правда, в 1990—1991 гг. концентрация хлорофилла *a* в воде несколько снизилась.

Вытекающая из Валдайского озера вода (в р. Валдайке) и сегодня более чистая, чем та, что попадает в него даже по лесным ручьям (потому-то все хотят поселиться только по берегам озера). Время водообмена в озере глубиной до 50 м составляет около 10 лет: в течение этого периода фосфор участвует в продукционных процессах сначала в водной массе, потом в донных отложениях — стоки в озере, как говорят гидрологи, трансформированы и замедлены.

Однако главная беда озера — поступление в него избыточных биогенных веществ — уже видна невооруженным глазом. Если раньше макрофитный пояс по его берегам «пышнел» и действовал как механический барьер, сдерживая рост другой биомассы, то в последние годы макрофиты, обросшие нитчатыми водорослями, в какие-то моменты начинают всплывать и ветрами разгоняться по акватории, и поверхность воды покрывается ряской трехдольной. В моменты нагона на озере заметно то самое цветение, которое обычно обсуждают журналисты.

Поэтому, по выражению И. В. Недогарко, озеро «застыло над пропастью». К чести специалистов нужно заметить, что достаточно долгое время они пытаются отсрочить возможное «падение», однако научно обоснованные рекомендации внедряются туго.

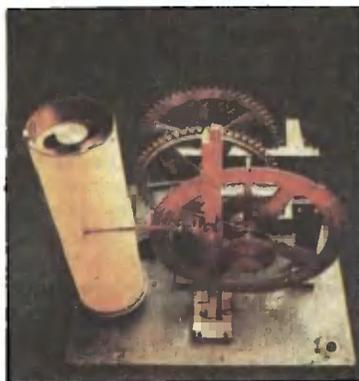
Очистные сооружения для основной части городских стоков начали строить в конце 70-х, а завершили только в 1984 г. При этом они не «забирают» фосфор, минерализуя, правда, органику и сбрасывая ее в виде азотных и фосфорных соединений. Однако было ясно, что эта примитивная очистка озера не спасет — необходимо было вывести стоки за пределы водосбора Валдая — в р. Полометь. Такие сооружения вошли в строй только в 1988 г.

Когда с городскими стоками постепенно начали справляться, в 1982 г. вошел в строй дом отдыха «Валдай». Стало известно, что его стоки (а их у комфортабельного заведения предостаточно) собираются сбрасывать в глубинные зоны второго плеса (на нем он и расположен). Совместно с сотрудниками Института географии РАН гидрологи филиала подготовили письмо с рекомендациями вывести стоки за пределы бассейна озера или сбрасывать их хотя бы в третий плес. И тем не менее их все же спустили в озеро вблизи города на глубину

Участок для изучения русловых форм на р. Полометь.



Один из экспонатов Музея гидрологических приборов.



около 12 м, что способствовало развитию фитопланктона. Только в ближайшем будущем стоки дома отдыха «Валдай» наконец поступят в р. Валдайку, где быстрое течение и быстрый оборот воды. Пока же именно рекреационные стоки фосфора доминируют среди прочих.

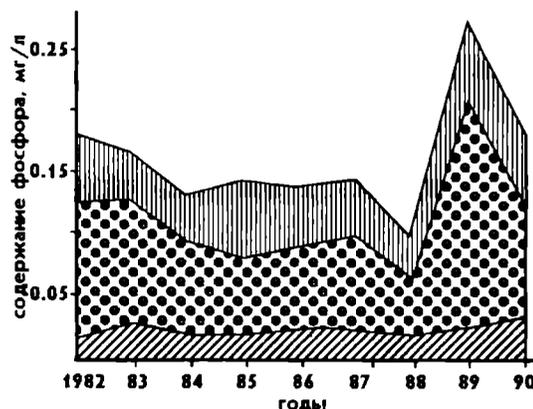
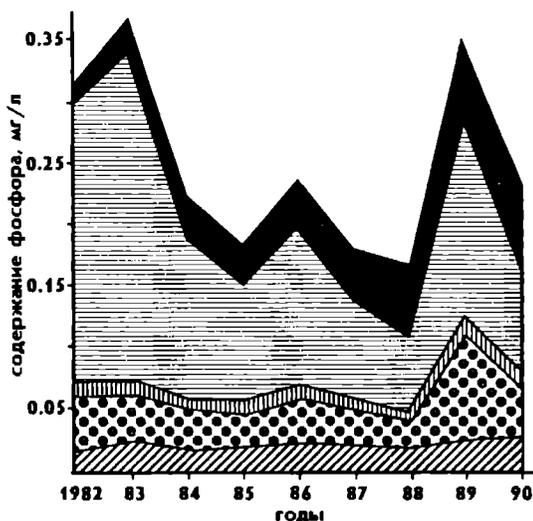
Рекомендации специалистов относительно сбросов стоков за пределы водосбора озера были наконец услышаны в тот год, когда стала попадаться пораженная рыба, — здесь удит самое высокое начальство. Дали денег, и появилась возможность измерить содержание в воде токсичных компонентов: тяжелых металлов, частиц ракетного топлива, тиофосфорной кислоты. В этих исследованиях участвовали самые разные организации, в основном столичные, было получено немало «жареных» фактов, но впоследствии все эти данные (например, о высоком содержании свинца и кадмия) оказались фоновыми, определяемыми глобальным переносом. Это были еще те застойные годы, когда научные исследования и экспедиционные работы финансировались лучше, чем теперь. Сегодня приезжих ученых на Валдае (кроме тех, кто совещается) почти нет. Валдайцы вынуждены обходиться своими силами.

## «Афины» ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГИДРОЛОГИИ

Расположенный на берегу Валдая филиал ГГИ в 30-х годах был рядовой сточной станцией. После войны на ней стали проводиться не только обычные измерения гидрометеорологических параметров, но и эксперименты, в которых отрабатывались первичные представления о стоке, испарении с различных поверхностей, осадках, т. е. тех процессах, которые гидрологи называют гидрологическим циклом. Сегодня, по мнению того же Недогарко, филиал представляет собой «Афины» экспериментальной гидрологии: под обломками едва угадываются контуры фундаментального здания, явно нуждающегося в восстановлении. В штате филиала в 70-х годах было около 200 человек; сегодня сотрудников всего 50, из них около десятка «научников». В озерной группе — три полные ставки и две «половинки»: метеоролог с гидрологическим опытом; гидролог, океанолог, а заодно немного лимнолог (И. В. Недогарко), полгидробиолога — специалиста по бентосу (эта сотрудница считает хлорофилл а), полгидрохимика («вторая половина» работает в редакции городской газеты, где зарабатывает на жизнь).

И все же работа идет. Мониторинг на озере складывается из наблюдений за температурой и уровнем воды, за содержанием в ней кислорода, хлорофилла а, прозрачностью. Проводятся весенние съемки концентрации фосфора, комплексные наблюдения на разрезах — вертикалях. В филиале был создан и до сих пор работает музей метеорологических приборов — достопримечательность не только местного, но и международного значения: нигде в Европе больше такого музея нет, а имеющиеся в нем образцы — редкость даже в некогда производивших их немецких фирмах.

Кроме музея действуют метеоплощадка, большой гидравлический испаритель, позволяющий определять испарение с водной поверхности. За пределами центральной усадьбы находится Лог Таежный — участок столетнего ельника, классический лесной водосбор, а также водосбор полевой — Лог Усадьевский. Здесь установлена система для изучения процессов стекания с выделением роли подземной составляющей. Ведутся и исследования возраста воды с применением тритиевого метода. Исследуются не только гидрологические процессы над тайгой, но и турбулентные пульсации воздуха над пологом леса. На р. Поломети имеется участок, где наблюдают за русловы-



ми процессами, движением наносов, формированием русловых форм. В общем, жизнь филиала как-то поддерживается. Финансирует его Роскомгидромет. Ставки очень небольшие: старший научный сотрудник получает 90—100 тыс. в месяц, инженер с 25-летним стажем — 50—60 тыс. рублей (июнь 1994 г.).

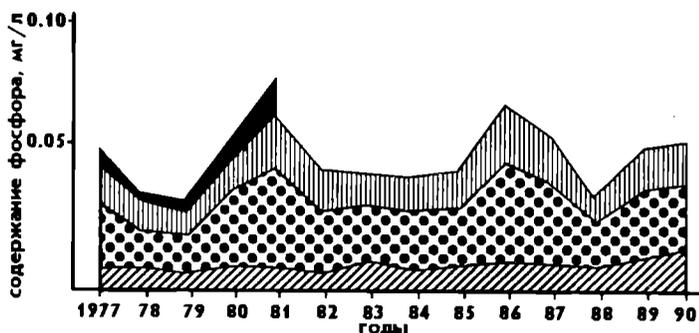
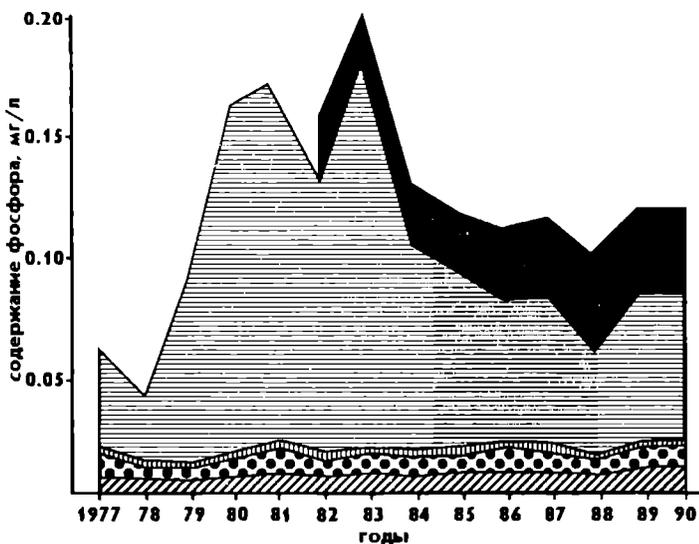
Кое-что удается заработать, выполняя работы по мониторингу. Для местных властей выпускается бюллетень мониторинга озер Валдай и Ужин. (Существует здесь и экологический класс для детей и взрослых.) Сотрудники филиала участвовали в создании концепции и определении границ Новгородской части Селигеро-Валдайского национального природного парка, принадлежащего Госкомлесу<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> В этой работе принимали участие Институт географии РАН и Российский научно-исследовательский институт охраны природы.

Содержание валового (слева) и минерального фосфора в воде озер Валдая (вверху) и Ужин.

Доля нагрузки:

-  осадки
-  лес
-  водосборы с включением сельскохозяйственных угодий
-  городской склон
-  рекреация



В основу этой работы было положено представление о водосборном бассейне и приводораздельных территориях с делением их по антропогенной нагрузке. Только при таком подходе становится ясно, какая часть должна, например, использоваться для рекреации, а какая для этого не подходит. Зона, в которой сегодня могут располагаться бесчисленные базы отдыха, наконец-то «вышла» за пределы водосборных бассейнов, включенных в национальный парк.

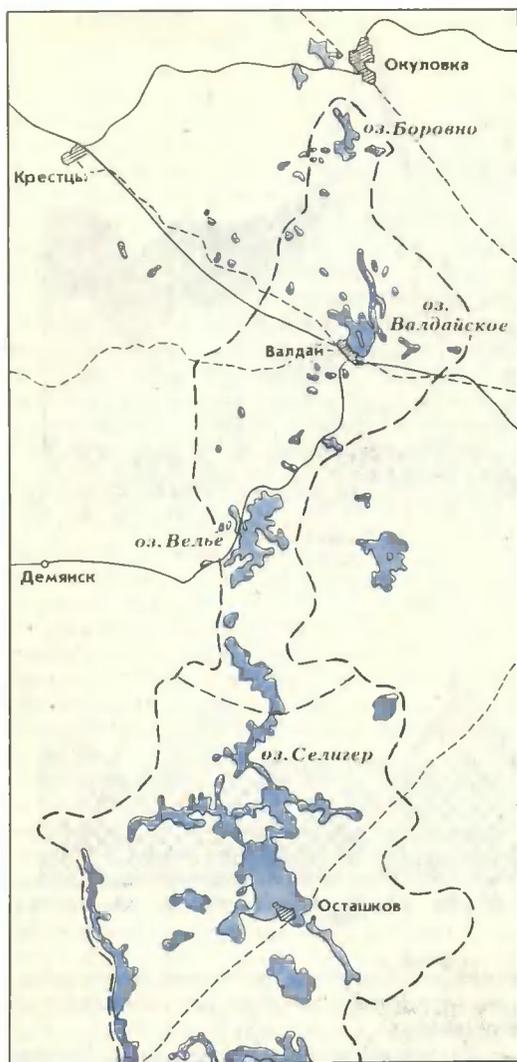
Площадь Новгородской (Валдайской) части национального природного парка — 150 тыс. га. В него входят крупные озера — Полновский плес Селигера (Северный плес), озера Велье, Валдай, Ужин, Боровно.

Пока национальный парк только формируется. Средств у него немного, число сотрудников — около 75. База парка располагается в старом Валдайском лесничестве, часть помещений дирекция парка арендует в филиале. Получили два катера, сделали

причал, занимаются изготовлением документации на тропы, кострища. Стиль парка еще не определен.

Еще одна проблема, над которой работают сотрудники национального парка и Валдайского филиала ГГИ, — экологическое обоснование части новой сверхскоростной железной дороги, которая, по проекту, должна соединить Петербург и Москву. Вокруг этого строительства ведется много споров. Общество разделилось на приверженцев и противников проекта. Похоже, И. В. Недогарко можно отнести к приверженцам новой дороги<sup>4</sup>. Действительно, если проект будет

<sup>4</sup> В июне этого года мне пришлось побывать на совещании независимой общественной экспертизы технико-экономического обоснования этого строительства. Здесь говорилось о его явных недоработках, экологической и экономической несостоятельности, с серьезными возражениями выступили археологи: неминуемо погибнут уникальные памятники. Настораживает и почти полное отсутствие публикаций по поводу новой «стройки века».



Границы Селигеро-Валдайского государственного природного национального парка (1990 г.); на севере располагается его новгородская часть — Валдайский парк.

воплощен в жизнь, за полтора часа можно будет попасть в Валдай с Невского проспекта.

Под новую дорогу отчуждается 100-метровая полоса (столько же обычно отводится под линии электропередач). Экспертиза по Новгородской области уже сделана. Поскольку трасса должна пересекать Национальный парк, в Валдае создана особая экспертная группа из 10 специалистов, которые намерены сделать все, чтобы трасса

не ухудшила гидрологический режим территории, прилегающей к дороге. Если полотно дороги пройдет по пологим участкам с сильной степенью увлажнения и ельникам, эти места могут быть подпружены, и тогда из оборота выпадут довольно большие участки прилегающей территории. Поэтому одно из требований экологов — мелиорация этой полосы.

В Валдае считают ненормальным положение, когда территория между московским и петербургским мегаполисами с населением в 20 млн. человек, по существу, пустынна, и надеются, что строительство новой магистрали может стать толчком к развитию и процветанию города.

Пока же, к сожалению, 500-летний Валдай малопривлекателен. Наиболее благоустроенная его часть застроена безликими пятиэтажками, но особенно плачевно состояние бывшего посада — района города, где сосредоточена лучшая дореволюционная застройка. Она напоминает развалины после бомбежки: пустые глазницы окон, здания без крыш и перекрытий. Слишком долго разномасштабные реставраторы снимали здесь «кальки», но до ремонта дело так и не дошло. Отрадный диссонанс с этим малопривлекательным пейзажем — золоченые купола древнего Иверского монастыря на Рябиновом острове и синяя гладь озера, хорошо просматривающаяся с высокого городского склона.

Валдайское озеро и другие бесчисленные озера и озерки центральной части Валдайской возвышенности, ее уникальные ландшафты — бесценный памятник природы, достойный всеобщей любви и особой заботы. Хорошо, что здесь, на Валдае, есть кому присмотреть за его здоровьем — филиал ГГИ держит его под наблюдением. Однако проблем у этого района, как и в других местах российской нечерноземной глубинки, немало: нерациональное земледелие, вырубка лесов (в заповеднике ее прекратили только в 1990 г.), нелепая мелиорация. Для преодоления этих бед нужны новые комплексные разработки, программы и, конечно, большие средства. Иностранная поддержка российской науки сюда пока не доходит. Остается надеяться, что наступит наконец стабилизация в нашей жизни и экономике и государство Российское позаботится о своих природных богатствах.

## Жуки красотелы

С.И.Сигида

Ставропольский педагогический институт

**В** СЕМЕЙСТВЕ плотоядных жуков жужелиц (*Carabidae*) есть род, представители которого славятся своей внешностью. Видимо, поэтому их и назвали красотелами (*Calosoma*). В мировой фауне этот род объединяет несколько подродов и около 120 видов. Только на территории СНГ обитает 14 видов из четырех подродов.

Распространены красотелы в умеренных и тропических областях обоих полушарий, нет их лишь во влажных тропических лесах. В СНГ ареалы этих жуков охватывают всю территорию, кроме севера тайги и тундры.

Как и все жуки из семейства жужелиц, красотелы — исключительно ночные животные, днем они скрываются в трещинах, под камнями и т.п. Ночью же выходят на охоту: проворно бегая по стволам деревьев, красотелы отыскивают мелких насекомых, гусениц и куколок бабочек. Уничтожая огромное количество вредителей лесного и сельского хозяйства, они приносят много пользы. Наибольший интерес с этой точки зрения представляют красотелы: степной (*C. denticolle*), обыкновенный (*C. inquisitor*), золототочечный (*C. augopunctatum*) и пахучий (*C. sycophanta*).

Ареал красотела степного охватывает степную зону и полупустыни Европейской части СНГ, Крым, Кавказ, Среднюю Азию, Казахстан, Алтай, Прибайкалье, юго-восточную Европу, Монголию, северо-западную часть Китая.

Тело этого жука — крупное (19-26 мм в длину), коренастое, с резко выступающими плечевыми углами. Верх — бронзово-черный или темно-бронзовый. На надкрыльях между каждыми двумя рядами крупных золотистых ямок расположены в среднем пять неправильных рядов мелких зернышек. Крылья развиты, жуки хорошо летают. По ночам степной красотел



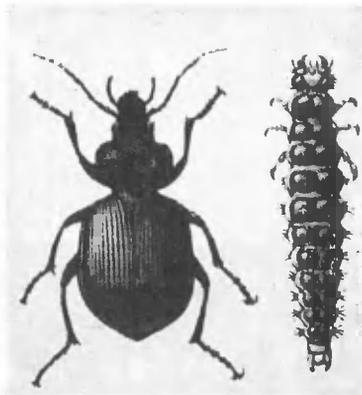
Красотел обыкновенный

Уничтожая вредителей лесного и сельского хозяйства, красотелы приносят много пользы.



иногда в огромном количестве летит на свет. Это мы неоднократно наблюдали в середине лета в теплую безветренную погоду. Особенно много жуков собирается под фонарями с лампами дневного света на степных окраинах селений.

Взрослые особи степного красотела живут до двух лет, зимуют в почве. Самки откладывают в землю около 100 яиц. Эмбриональное развитие длится около двух недель. Личинки степного красотела более хищны, чем имаго (взрослые особи), но они не



Жук и личинка красотела пахучего.

могут лазать по растениям и охотятся только на поверхности почвы и в ее верхнем горизонте. Нередко они нападают и на своих сородичей. Претерпев две линьки, личинки окукливаются в почве в течение 12-15 дней. Имаго степного красотела, как и его личинки, — хищники-полифаги: в степных районах питаются гусеницами различных бабочек (лугового мотылька, капустной моли, совок, огневков), вредителями полевых культур. Нередко жертвами острых челюстей степного красотела становятся хрущи, чернотелки, свекловичный долгоносик и саранчовые.

Другой представитель рода, красотел золототочечный, населяющий полевые и целинные земли южной части СНГ, — транспалеарктический вид — его ареал простирается от Атлантики до Тихого океана.

Окраска этого крупного (20-31 мм в длину) жука — черная, реже черно-зеленая или темно-бронзовая. Между каждыми двумя рядами крупных медных или зеленых ямок надкрылий различимы три плоских, густо поперечно исчерченных промежутка.

Наибольшая численность этого вида в биотопах с умеренным увлажнением — в травянистых ценозах, на склонах балок и т.п. Из антропогенных биоценозов красотел золототочечный предпочитает полевые лесополосы, сады, парки, виноградники. В исследованном нами регионе жуки выходили из спячки в начале апреля. Самки с яйцами встречались в конце июня — начале июля. Личинки живут в почве.

Как и предыдущий вид, красотел золототочечный — хищник-полифаг, уничтожающий гусениц лугового мотылька, озимой совки, имаго, личинок и куколок колорадского жука.

Успешно "очищает" леса и сады от вредителей и красотел пахучий. Водится он в Европе, Средиземноморье, на Кавказе, в Крыму, Средней Азии, а за свое "трудлюбие" был специально завезен в Северную Америку.

Красотел пахучий предпочитает дубовые, буквые и грабовые леса, сформировавшиеся полевые леса, опушки, другие древесные насаждения. На Кавказе его можно встретить в горах на высоте 1200-1500 м над ур. м., в Средней Азии — до 2000-2200 м.

Пожалуй, это один из самых больших красотелов: длина взрослой особи от 22 до 31 мм. Голова, переднеспинка и большая часть низа этого жука — темно-синие, надкрылья — золотисто-зеленые с медно-красным отливом; усики, ноги и брюшко — черные.

Красотел пахучий живет до четырех-пяти лет, зимует в почве, причем взрослые жуки могут долго (до двух лет) находиться в почве в неактивном состоянии, совсем не выходя на поверхность. Весь цикл развития этого красотела протекает за 35-50 дней. В августе — начале сентября формируются взрослые жуки, которые остаются всю зиму в куколичных колыбельках и из зимней диапаузы выходят в конце марта — начале апреля.

Самки красотела пахучего высокоплодовиты: в среднем каждая откладывает около 120 яиц (максимальное количество — 653) в год.

И жуки, и личинки питаются мелкими беспозвоночными (преимущественно гусеницами и куколками бабочек), основная же его жертва — непарный шелкопряд. Подсчитано, что одна взрослая особь красотела пахучего за лето уничтожает около 235, а личинка — около 40 гусениц и куколок этого вредителя. За одно лето пара жуков и их потомство могут истребить 6 тыс. гусениц и куколок непарного шелкопряда.

Вот как описал встречу красотела пахучего с неуступающей ему по величине гусеницей шелкопряда А.Э.Брэм: "Схватив гусеницу, красотел, несмотря на отчаянное сопротивление, спокойно

спускается вниз и здесь начинает расправляться со своей добычей. Долго они барахтаются, кувыркаются, пока наконец обесиленная жертва не будет сломлена, и тогда победитель спокойно начинает пожирать гусеницу. Если во время трапезы его кто-нибудь побеспокоит, то красотел с яростью топчет ногами, кусается и пускает в ход все средства, чтобы отогнать врага".

Взрослые особи и личинки красотела пахучего преследуют свою добычу на земле или на деревьях, по ветвям и стволам которых очень ловко передвигаются. Иногда они забираются в кроны деревьев на высоту до 15 м, где и уничтожают гусениц. Голодные личинки, как, впрочем, и жуки этого вида, в поисках добычи могут преодолевать до 2,5 км в сутки. Известны случаи нападения красотела пахучего на молодых птенцов воробьиных птиц.

В последние десятилетия численность красотела пахучего резко сократилась. Вид внесен в республиканские Красные книги и "Красную книгу СССР", взят под государственную охрану в Польше, Германии и других странах.

Сейчас в парках и дубравах, чаще встречается другой вид этого рода — красотел обыкновенный. Его ареал не столь обширен, как у красотела пахучего, и включает Европу, Крым и Кавказ. Уступает красотел обыкновенный пахучему и в размерах (длина тела — от 16 до 24 мм), хотя и не менее красив: надкрылья темно-бронзовые или темно-зеленые, иногда медно-зеленые или темно-синие, боковые крылья переднеспинки и надкрылья обычно более яркие. Биология красотелов обыкновенного и пахучего во многом сходна.

Естественные враги красотелов — птицы (сорока, сойка, грач и др.), но несоизмеримо больший вред этим жукам наносит человек. Вырубка лесов, обработка лесов и полей ядохимикатами, к которым красотелы очень чувствительны, — все это привело к резкому сокращению численности красотелов. А между тем, уничтожая большое количество вредителей лесного и сельского хозяйства, все четыре вида — несомненно, полезные хищники и остро нуждаются в охране.

<sup>1</sup> Брэм А. Э. Жизнь животных. М., 1992. Т.3. С.170-171.

# Комета упала. Первые впечатления с мест наблюдений\*

Б. И. Силкин  
Москва

## КОМЕТА «НЕ ПОДВЕЛА» АСТРОНОМОВ

Почти все явления, предсказанные астрономами в ожидании столкновения кометы Шумейкеров — Леви-9 с Юпитером, были в той или иной степени обнаружены. Единственным исключением стало излишне смелое предположение, согласно которому сопровождающие падение кометы вспышки будут настолько яркими, что с Земли увидят их отражение от спутников Юпитера, находящихся в этот момент «за спиной» гигантской планеты.

Как и было вычислено заранее, первый (фрагмент «А») из целого «поезда» обломков, на которые комета два года назад рассыпалась под влиянием мощного тяготения Юпитера, вонзился в его газовую оболочку 16 июля 1994 г. Фрагменты этого «поезда» названы буквами латинского алфавита — от А до W в порядке очередности их предполагаемого падения.

Астрономы всего мира постарались максимально использовать редчайшую возможность: ведь никогда их настолько заблаговременно не предупреждали о грядущем столкновении какого-либо небесного тела с планетой. Правда, конкретные размеры и состав наиболее крупных обломков трудно было оценить, и некоторые специалисты опасались, что их ядра слишком малы и непрочны, чтобы их падение стало заметным для землян.

Скептики на этот раз ошиблись. Одним из первых, кто наблюдал явление, стал директор Южно-Африканской обсерватории в Кару (300 км северо-восточнее Кейптауна)

Р. Стоби (R. Stobie), который зарегистрировал его при помощи телескопа с апертурой 0.7 м (диаметр отверстия диафрагмы объектива) и камеры, работающей в инфракрасном диапазоне. В этот момент быстрое вращение Юпитера вокруг его собственной оси («сутки» на этой планете длятся лишь 10 земных часов) вывело спустя всего несколько минут место падения фрагмента «А» в области 50° ю. ш. на видимую нам сторону Юпитера. Оно озарилось столь сильной вспышкой, что она превзошла яркость известной «луны» Юпитера — Ио. Возникшее в атмосфере планеты темное пятно было хорошо различимо даже в видимой полосе частот в течение еще нескольких суток.

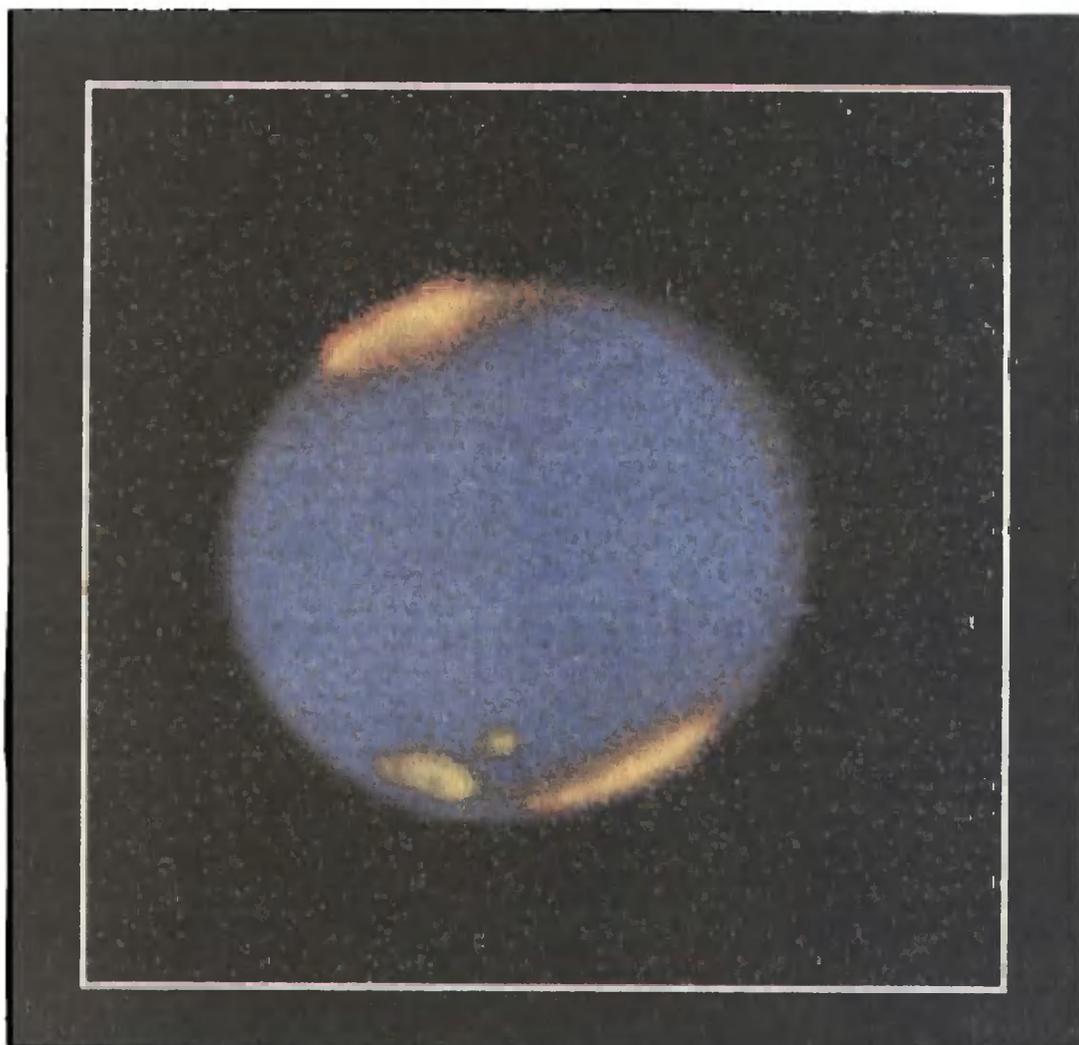
Но самым крупным оказался обломок «G», шестой среди цепочки фрагментов когда-то единого тела кометы. Его вхождение в плотные слои атмосферы Юпитера, случившееся 18 июля, сопровождалось выбросом раскаленного столба газов, яркость которого сравнилась со свечением всей остальной планеты. Инфракрасные детекторы излучения, присоединенные к крупнейшему в мире (10-метровому) телескопу им. Кека, расположенные на вершине горы Мауна-Кеа (штат Гавайи, США), «ослепли» и «зашкалили» от такого мощного излучения.

Ознакомившись с первичными данными наблюдений, один из первооткрывателей кометы — Ю. Шумейкер (E. Shoemaker) из Лоуэлловской обсерватории в штате Аризона (США) — сказал, что они дают достаточно четкое представление о количестве выделившейся при соударении энергии. Падение фрагмента «G» выбросило в окружающую среду такое количество энергии, которое содержится в 6 млн. мегатонн взрывчатки-тринитротолуола. Теперь оказалось возможным установить, что этот осколок обладал поперечником около 3 км.

Разброс энергетических способностей у разных обломков был весьма значитель-

\* Обзор подготовлен по: New Scientist. 1994. V. 143. N 1935. P. 4; N 1936. P. 6 (Великобритания).

© Силкин Б. И. Комета упала. Первые впечатления с мест наблюдений.



Падение Фрагмента «С» кометы Шумейкеров — Леви 9 (ШЛ-9) 17 июля 1994 г. примерно в 7 час. 10 мин универсального времени. Изображения получены с помощью телескопа диаметром 2.3 м Аризонского университета. Осколок упал на не видимой с Земли части Юпитера, так что яркие пятна на рисунках — это выбросы вещества в атмосферу Юпитера. Максимальная яркость выброса наблюдалась через 8 мин после падения. На последнем кадре, сделанном через 45 мин после падения, Юпитер уже повернулся настолько, что пятно в месте падения оказалось на видимой части планеты (период вращения Юпитера вокруг оси — 9.92 ч.). Съемка производилась в инфракрасной области спектра, затем изображения преобразовывались с помощью компьютера в цвета обычного видимого диапазона. В правом углу каждого кадра указаны часы, минуты, секунды универсального времени [UT].

Крупное пятно на месте падения Фрагмента «С» кометы ШЛ-9 на Юпитер (вблизи Южного полюса). Слева — изображение, построенное в виде композиции трех инфракрасных снимков, полученных с помощью того же телескопа с диаметром 2.3 м через фильтры 3.42 мкм; 3.28 мкм и 3.09 мкм. Справа — то же пятно, что и на рисунке слева, но изображение построено с помощью снимка, сделанного через фильтр 2.22 мкм (в полосе поглощения метана).



ным. Так, фрагмент «А» был примерно в 25 раз менее «энергичным», а его диаметр достигал «лишь» 1 км. Следует напомнить, что крупнейшее небесное тело, столкнувшееся с Землей на памяти человечества, — Тунгусский метеорит 1908 г. — обладал поперечником вряд ли большим 30 м, но и он, взорвавшись на высоте около 10 км, повалил сибирскую тайгу на площади 2 тыс. км<sup>2</sup>.

Высота столба газов и частиц, выброшенных падением фрагмента «С» на Юпитер, достигала 2.2 тыс. км. Более «слабые» обломки «А», «С» и «Е» вздыбли подобные колонны выше юпитерианских облаков — на высоты около 1 тыс. км.

Построенные за несколько месяцев до события математические модели исходили из того, что скорость вхождения фрагментов в атмосферу планеты составит 60 км/с. Эта оценка оказалась правильной, как, по-видимому, и то, что они успели пронзить сотни километров газовой оболочки, прежде чем трение и нагрев разорвали их на мельчайшие куски. Эти взрывы сопровождались огненными вспышками, причем области свечения, расширяясь, поднимаясь вверх и проникая сквозь слой облачности, после поворота Юпитера становились хорошо видимыми. Расчеты показывали (и это действительно наблюдалось), что объект поперечником 1 км порождает столб газов и частиц, который в течение примерно 5 мин бьет вверх; затем он начинает обрушиваться, распадаться, расширяться во все стороны и, наконец, примерно через час сплывает в диск. Естественно, чем больше энергии он несет с собой, тем дольше все это происходит.

Помимо земных наблюдателей за событиями следил и находящийся на орбите космический телескоп им. Хаббла, которому заблаговременно были переданы соответствующие команды. Он передал четкие изображения места падения обломка «С», детально проследил за развитием в течение нескольких минут возникшего столба и получил изображение в видимой части спектра огромного темного пятна на поверхности Юпитера, окруженного двумя смещенными от центра кольцами, диаметр внешнего из которых достигал 12 тыс. км.

Изучавшая результаты наблюдений астроном Х. Хаммел (H. Hammel) из Массачусетского технологического института в Кембридже (США) обратила внимание на то, что затемненная область, окружающая кольца с внешней стороны, не очень плотная, поскольку сквозь нее все же можно наблюдать известные издавна полосы спектра излучения из более глубокой части атмосферы

планеты. Вся же область, на которой видны следы падения этого обломка, через сутки после взрыва превышала размеры Земли и еще продолжала расширяться.

Тысячекилометровые пятна оставались видимыми еще длительное время — по нескольку дней после события, чего никто из специалистов не ожидал. В инфракрасной части спектра пятна выглядели весьма яркими, а в видимой — темными. Все это облегчало при подходящих погодных условиях наблюдения тысячам астрономов-любителей, пользовавшихся более или менее сильными телескопами. (И все-таки падение небольшого фрагмента «В» было замечено очень немногими.)

Группа наблюдателей из Европейской южной обсерватории в Чили проверила гипотезу Б. Моссера (B. Mosser) о том, что ИК-излучение должно наблюдаться также из точек, симметричных относительно экваториальной плоскости точкам падения осколков, т. е. из областей с той же долготой в Северном юпитерианском полушарии. По этой гипотезе, излучающие ионизованные частицы из области взрыва должны переноситься вдоль магнитных силовых линий Юпитера, представляющего собой, как и Земля, магнитный диполь. И действительно, по предварительным данным, на некоторых частотах ИК-диапазона было зафиксировано излучение, по-видимому, связанное с взрывом в Южном полушарии, причем для некоторых линий (212 мкм) — с интенсивностью, сравнимой с интенсивностью излучения с самого места падения.

Космохимики не ожидали увидеть в составе материалов, выброшенных при падении и взрывах, сернистые вещества и металлы. Обычно в атмосфере Юпитера богато представлены углеводороды, но во время нынешних наблюдений приборы зафиксировали излучение, характерное для сернистых веществ. По мере постепенного потемнения возникших тогда пятен появились следы магния, кремния и, возможно, железа. Научная сотрудница Института космического телескопа в Балтиморе (штат Мэриленд, США) М. Мак-Грат (M. McGrath) полагает, что это все происходит от обломков кометы. С другой стороны, заявляя исследовательница, там не оказалось ожидаемой учеными воды.

Отсутствие воды и других веществ, содержащих кислород, остается загадочным; они должны были бы входить в состав как атмосферы планеты, так и тела кометы. Верхняя часть атмосферы Юпитера состоит из частиц льда аммиачного состава. Под «чистым» аммиаком, согласно существовав-

шим представлениям, должны располагаться сероводородно-аммиачные облака, а еще на 50—100 км ниже — облака из более привычных землянам частиц водного льда.

Если обломки кометы проникли достаточно глубоко в газовую оболочку планеты, то при их взрыве из нижних слоев атмосферы в верхние должна была выброситься масса водяных паров. Почему ничего подобного не обнаружили — остается неясным.

Отсутствие «наверху» следов воды вызвало подозрение, что обломки кометы просто не проникли достаточно глубоко в газовое тело Юпитера. Еще один аргумент в пользу подобного предположения выдвинул американский астроном Э. Ингерсол (A. Ingersoll) из Калифорнийского технологического института в Пасадине. Ему удалось зафиксировать низкочастотные звуковые волны, вызванные падением. Из той области, где с атмосферой планеты соприкоснулся фрагмент «G», вырвалась мощная звуковая волна, распространявшаяся со скоростью 800 м/с, — это и есть скорость звука для верхних слоев юпитерианской атмосферы. Из более глубокой ее области, где скорость звука меньше, распространялась сильно ослабленная волна. Ученый делает вывод, согласно которому свою энергию комета потратила в основном «наверху», а не в глубинных слоях газовой оболочки. Это напоминает Тунгусский метеорит, также разрушившийся высоко над Землей.

Интересно, что эффект, произведенный на окружающую среду, существенно зависел от места, которое тот или иной из 21 обломка кометы занимал в их цепочке, в общем напоминающей «поезд». Дело в том, что еще на дальнем подходе к «цели» часть из них «сошла с рельсов» и продолжала приближаться к Юпитеру хотя и по параллельной, но самостоятельной траектории.

Те фрагменты, которые оставались на «рельсах» основного потока, вызвали значительно более яркие вспышки, чем остальные. А результаты падения отклонившихся фрагментов «T», «U» и «V», очевидно, никому наблюдать так и не удалось. Это, вероятно, объясняется гипотезой Д. Грина (D. Green) из Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра в Кембридже (штат Массачусетс). Он считает, что «сшедшие с рельсов» обломки выделили сравнительно небольшую энергию: будучи более рыхлыми телами со слабыми внут-

ренними связями, они легко развалились от трения и удара в атмосфере.

Зато обломок «M», потерянный астрономами в его полете еще несколькими месяцами ранее, обнаружился в момент падения с достаточной очевидностью. Ранее Шумейкер высказывал предположение, что он тогда еще не перестал существовать, но просто с его поверхности прекратилось выделение газов и пылевидных частиц, которые, активно отражая свет, и делают подобный объект видимым с Земли.

Фрагменты «Q», «R» и «S» попали почти в одно и то же место, но в разное время в течение трех последовательных оборотов Юпитера. Однако их зоны падения все же друг друга не перекрыли. Причем осколок «R» перед самым соударением внезапно развалился по крайней мере на две составные части, что еще более ослабило эффект.

## НЕОЖИДАННАЯ «РАДИОПЕРЕДАЧА» С ЮПИТЕРА

При падении обломков кометы «радиояркость» этой великой планеты резко возросла. Астрономы ожидали этого, но, к их удивлению, вспышка излучения произошла в диапазоне высоких частот, т. е. именно в той части спектра, где ожидалось ее уменьшение.

В момент события радиoaстроном М. Кляйн (M. Klein) из Лаборатории реактивного движения в Пасадине (штат Калифорния, США) проводил наблюдения при помощи 34-метровой параболической антенны обсерватории Голдстон в Калифорнии и зарегистрировал скачок радиоизлучения Юпитера на 20—30% на частотах около 2.3 ГГц.

Это явно было связано с так называемой синхротронной радиацией, порождаемой электронами, движущимися со скоростями, близкими к световой, по спирали, «нанизываясь» на магнитные силовые линии мощного магнитного поля Юпитера. Столь резкий рост интенсивности радиоизлучения Юпитера еще ни разу не регистрировали за все 23 года его наблюдений.

Аналогичные явления обнаружили также и радиoaстрономы в некоторых обсерваториях США, а также в Германии и Австралии. Максимумом это излучение достигло 23 июля, т. е. сразу после столкновения с планетой последнего из обломков кометы («W»); вслед за тем оно пошло на убыль. Величина максимума была раз-



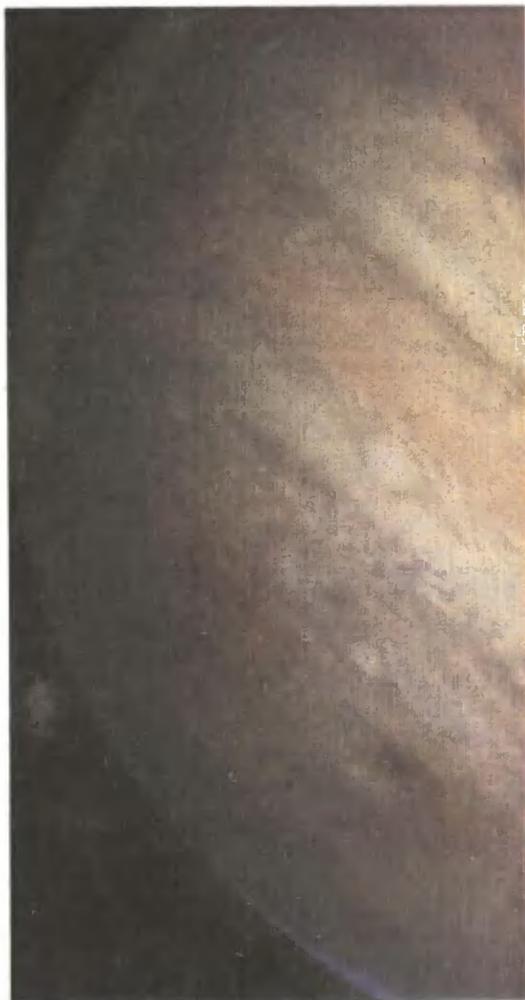
Следы столкновения нескольких фрагментов ШЛ-9 с Юпитером. Снимки сделаны с помощью 4-метрового телескопа Межамериканской обсерватории Серро Тололо через фильтры 2.3 мкм, 2.18 мкм и 2.06 мкм 18 июля 1994 г. между 2.06 и 2.18 UT. На рисунке представлена компьютерная композиция этих снимков. Самое яркое пятно — след падения фрагмента «А» (вблизи лимба — слева). Выше видно Большое красное пятно.

личной на разных частотах, чего и следовало ожидать от синхротронной радиации.

С другой стороны, астрономы ожидали, что пылевидные частицы, освобожденные соударением кометы с Юпитером, будут поглощать электроны, вызывающие синхротронное излучение. Вместо этого сюда поступило дополнительное количество электронов, источник которых остается загадкой.

А на низких частотах, где многочисленные радиолюбители намеревались провести наблюдения при помощи своего несложного оборудования, почти ничего необычного не отмечалось. На низкочастотное излучение в диапазоне 16.7—32 МГц, относящееся к «любительской» полосе частот, столкновение небесных тел почему-то имело малое влияние. На этих частотах обычно вспышки излучения происходят в момент, когда один из спутников Юпитера — Ио — проходит через определенные зоны магнитного поля планеты. Такие события в наше время легко прогнозируются.

Эти вспышки действительно происходили в ту неделю, когда произошла серия столкновений Юпитера с обломками кометы. Однако проводивший тщательные их на-



Изображения, полученные с помощью космического телескопа Хаббла: через 50 мин (слева) и 105 мин (справа) после падения [3.28 UT 18 июля] самого яркого и, по-видимому, самого большого фрагмента «G» кометы ШЛ-9. Изображения получены как компьютерная композиция нескольких снимков, снятых через разные фильтры. След фрагмента «G» виден на левом рисунке как центральное темное пятно, окруженное двумя кольцами.

блюдения астроном Т. Карр (T. Carr) из Университета штата Флорида (Гейнсвилл, США) увидел лишь две из них, и те довольно слабые, более или менее совпадавшие по времени с падением обломков, так что связь явления здесь весьма сомнительна.

Юпитер является второй после Солнца по мощности естественной «радиостанцией» всей нашей системы. И наблюдавшиеся явления требуют от специалистов правдоподоб-

ных объяснений.

Задним числом выяснилось, что человечество так или иначе и ранее замечало аналогичные события. Так, историк науки Т. Хоки (T. Hockey) из Университета Северной Айовы (Сидар-Фоллс, США) описывает ряд случаев, когда различные астрономы (включая таких выдающихся, как У. Гершель и Дж. Кассини) в период с 1690 по 1872 г. сообщали о наблюдениях неких пятен на Юпитере, которые также могли быть вызваны падением комет.

Известный специалист по малым телам Солнечной системы Б. Марсден (B. Marsden) из Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра обнаружил сходные сведения в публикациях Британской астрономической ассоциации. Так, в 1927 г. любитель Т. Э. Р. Филлипс (T. A. R. Phillips) зарегистрировал

28 июля на поверхности планеты пять «точек, составляющих единый ряд» и десять — 2 августа. Один любитель сделал зарисовку двух пятен в 1948 г. и т. д. На основании этого Марсден считает, что кометы падают на Юпитер в среднем не раз в тысячелетие, как полагает Шумейкер, а намного чаще.

Все же ниже подобного событиям 1994 г. ученые ранее не наблюдали. Прежние рисунки могли отражать и явления иного рода, как это было, например, с несуществующими на самом деле марсианскими «каналами»...

Несколько неожиданный резонанс вызвали эти события в мире политики. Конгресс

США задался вопросом о хотя бы теоретической возможности столкновения Земли с какой-либо иной кометой, со всеми вытекающими отсюда последствиями. На своем заседании, состоявшемся как раз во время падения обломков на Юпитер, комитет палаты представителей США по науке, космосу и технике выдал указание в адрес НАСА. Оно гласит: «...поручается каталогизировать и отслеживать все крупные кометы и астероиды, которые могут пересекать орбиту Земли».

Это ли не оценка важности события и пользы, которую могут приносить представители, казалось бы, столь «неприкладной» науки?

## НОВОСТИ НАУКИ

### Планетология

#### Моделирование распада кометы вблизи Юпитера

Считается общепризнанным, что за два года до своего падения на Юпитер комета Шумейкеров — Леви-9 (ШЛ-9) распалась на 21 фрагмент, пройдя на расстоянии 94 тыс. км, или 1.31 радиуса Юпитера, от центра этой планеты по орбите с эксцентриситетом 0.996. Но как именно происходил этот распад? При каких условиях образуется именно такое число фрагментов при соответствующей наблюдениям полной длине кометной цепочки? На эти вопросы убедительные ответы дают американские планетологи Е. Асфог (E. Asphaug; Исследовательский центр Амес, Мофат Филд, штат Калифорния) и У. Бенц (W. Benz; Обсерватория Стюарт, Тусон, штат Аризона).

Приливные силы, действующие на тело вблизи Юпитера, растягивают его поперек орби-

ты. Возникающие при этом механические напряжения пропорциональны квадрату размера тела и убывают как куб расстояния от планеты. Если считать кометное тело твердым, разрушающимся в тот момент, когда напряжения в нем превзойдут предел разрушения, то при каждом дроблении тела пополам разрывающие напряжения в его фрагментах понижаются в четыре раза. Подсчеты показывают, что при таком сценарии дробления не удается получить нужное число фрагментов ни при какой плотности тела.

Авторы исследуют поведение вблизи Юпитера тела с иной моделью внутреннего строения, по сути, близкой к жидкой среде. Предполагается, что комета состоит из большого числа (в расчетах — до 2000) отдельных масс, взаимодействующих только гравитационно, но не допускающих взаимопроникновения. Компьютерные расчеты по схеме динамики сгруппированных частиц с такой моделью среды использовались при расчетах образования Луны в гипотезе Великого столкновения<sup>1</sup>.

Расчеты Асфог и Бенца показывают, что вблизи перигелия (ближайшей к Юпитеру точки орбиты) кометное тело распадается на отдельные массы, но уже довольно скоро, через несколько часов, когда расстояние от Юпитера достигает всего десятка его радиусов, взаимное гравитационное взаимодействие объединяет разрозненные частицы в связанные клубки, формируя этим ряд фрагментов кометной цепочки. Взаимодействии же между соседними фрагментами становится пренебрежимо мало, и они удаляются друг от друга, сохраняя примерно прямолинейный вид цепочки.

Проведя моделирование для начальных тел разного размера и плотности, авторы убедились, что наилучшее совпадение с наблюдавшейся структурой кометы ШЛ-9 дает кометное тело диаметром 1.5 км с плотностью 0.5 г/см<sup>3</sup> (полная начальная масса около 10<sup>12</sup> кг). При этих условиях образуется

<sup>1</sup> Камерон А. Г. У. Образование Луны. Теория гигантского столкновения // Природа. 1994. № 3. С. 31—38.

чуть более 20 близких по массам фрагментов с диффузным полем отдельных частиц вокруг них. Такая структура соответствует не только комете ШЛ-9, но и цепочкам кратеров на Ганимеди и Каллисто, порожденных аналогичными распадами в прошлом<sup>2</sup>. Начиная с моделирования для N-1000 взаимодействующих частиц, результаты расчетов оказались устойчивы к дальнейшему росту этого числа. Остается, впрочем, некоторая неопределенность начальных параметров кометы, если учесть принципиальную возможность быстрого (с периодом около 9 ч) прямого вращения кометного тела. Менее быстрое вращение не вносит заметных изменений, обратное быстрое вращение дает центральный фрагмент большой массы, которого не наблюдалось среди фрагментов ШЛ-9, а быстрое ортогональное вращение приводит к полной диссипации кометы на отдельные частицы.

Авторы отмечают интересную возможность образования такого практически жидкого тела из слабосвязанных частиц непосредственно (менее чем за час) перед его распадом. Перед вхождением в область полости Роша, где сильные разрывающие приливные напряжения, комета ШЛ-9 прошла экваториальную плоскость Юпитера на расстоянии около 1.6 радиуса планеты. Но именно там находится тонкое (плохо видимое с Земли) юпитерианское кольцо. Столкновение кометы с единственным тельцем из этого кольца, допустим, метрового диаметра, при относительной скорости 50 км/с моментально испаряет его и порождает ударную волну в теле кометы. Она превращает эту плотную ледяную глыбу в рой отдельных осколков, которые не успевают далеко разойтись, прежде чем они попадут в растягивающее поле Юпитера. Этот увлекательный сценарий требует, однако, более детальной проработки.

Nature. 1994. V. 370. N 6485. P. 120 (Великобритания).

## ПЛАНЕТОЛОГИЯ

### Происхождение кратерных цепочек на Луне

Многие мелкие кратеры на Луне образуют длинные цепочки, достигающие десятков километров в длину. Обычно подобные кратеры считали вторичными, полагая, что они образовались в результате падения обломков, возникших при ударе о поверхность Луны единого крупного небесного тела. Однако такое объяснение неприменимо в отношении кратерной цепочки Дэви, которая состоит из 23 отдельных кратеров, вытянута на 47 км и не «указывает» своим концом на какой-либо крупный кратер; отдельные ее кратеры более ярко и четко очерчены, чем вторичные. Эта кратерная цепочка и сходные с ней образования оставались загадочными для астрономов.

Новый взгляд на проблему появился после того, как выяснилось, что комета Шумейкера — Леви-9 под влиянием тяготения Юпитера раздробилась более чем на 20 фрагментов, которые порознь соударялись с планетой. Дж. Меллош (J. Melosh; Университет штата Аризона, Финикс, США) пришел к выводу, согласно которому несколько кратерных цепочек, известных на Каллисто, спутнике Юпитера, были образованы обломками комет, также разрушившихся в свое время под воздействием мощных гравитационных сил гигантской планеты<sup>1</sup>.

Затем, независимо друг от друга, две группы американских астрономов: возглавляемая Дж. Меллошем и Э. А. Уайтейкером (E. A. Whitaker; тот же университет) и Р. Ричманом и Ч. Вудом (R. Richman, Ch. Wood; Университет штата Северная Дакота, Гранд-Форкс) — заключили, что и лунная кратерная цепочка Дэви того же происхождения.

Аналогичным образом, по мнению Меллоша и Уайтейкера,

возникла вблизи кратера Абульфеда на Луне и цепочка, состоящая из 24 крупных кратеров (их диаметры от 5 до 13 км); они тоже не «упираются» ни в какой из еще больших кратеров и, следовательно, не могут считаться вторичным образованием.

Вуд считает, что на Луне зафиксирована «судьба» комет, «рискнувших» подойти слишком близко к Земле. Большинство таких комет, обладая значительными скоростями, должны были, разваливаясь на части, формировать кратеры близко друг к другу, так как у обломков имелось всего несколько часов, чтобы разойтись в стороны, прежде чем упасть на Луну.

По оценкам Меллоша и Вуда, цепочка Дэви была образована кометой, первоначально имевшей диаметр около 1 км, а затем рассыпавшейся на фрагменты поперечником в несколько сотен метров каждый. Судя по цепочкам, с Землей, полагает Меллош, сближается в среднем одна комета в 10 тыс. лет, что существенно чаще, чем считало до сих пор большинство специалистов.

New Scientist. 1994. V. 142. N 1422. P. 17 (Великобритания).

## Планетология

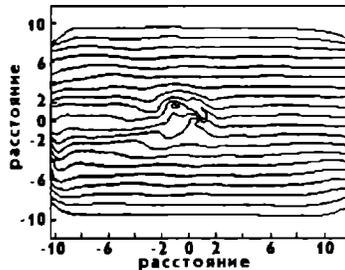
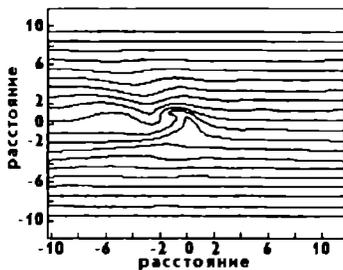
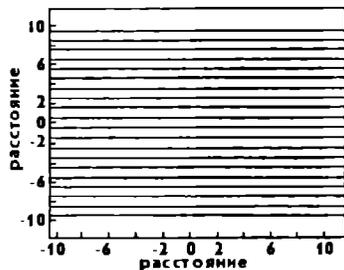
### Образование вихрей в атмосфере Юпитера при падении фрагментов кометы

Одними из наиболее интересных особенностей, наблюдаемых в атмосферах быстро вращающихся планет, таких как Юпитер, являются долгоживущие вихревые образования — вихри Россби. В настоящее время считается, что именно к их числу относятся такие хорошо известные структуры в атмосфере Юпитера, как Большое красное пятно, Белый и Коричневый овалы. Аналоги таких вихрей — циклоны и антициклоны в атмосфере Земли и синоптические вихри в океане. Поперечный размер вихрей Россби во много раз превышает высоту атмосферы, давление соответству-

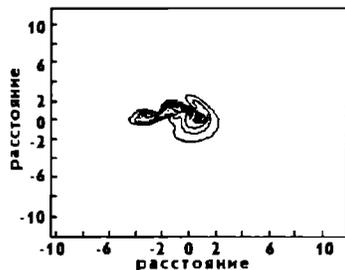
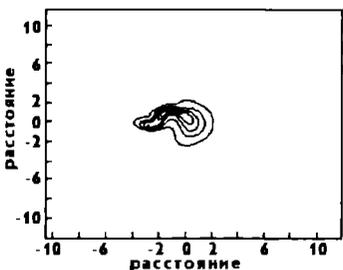
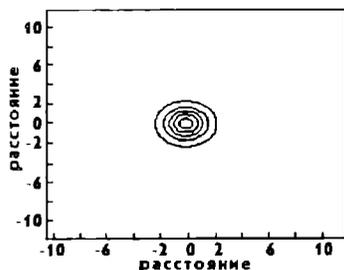
<sup>2</sup> Бялко А. В. Кометная цепочка: рождение и гибель // Природа. 1993. № 12. С. 80—82 (там же — ссылки на оригинальные работы).

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Бялко А. В. Кометная цепочка: рождение и гибель // Природа. 1993. № 12. С. 80—82.

## ДАВЛЕНИЕ



## ТЕМПЕРАТУРА



Генерируемые падением крупного осколка (размер порядка 1 км; нагрев атмосферы на 30 К) возмущения давления (вверху) в зональном потоке на высоте облаков Юпитера и температуры: через 5 земных суток после падения (слева), через 10 сут. (в середине) и через 15 сут. Видно образование вихревой структуры. Верх рисунков соответствует направлению на полюс, низ — на экватор. Расстояния указаны в радиусах Россби.

ет гидростатическому приближению, а горизонтальный градиент давления удерживается силой Кориолиса.

Характерным горизонтальным масштабом этих процессов в атмосфере является радиус Россби — Обухова  $R = c\omega_0 \sin \alpha / 2$ , где  $\omega_0$  — угловая скорость планеты,  $c$  — скорость звука,  $\alpha$  — широта. Для Юпитера на широте падения кометы этот радиус оценивается в 6000 км. Фазовая скорость  $v$  линейных волн Россби для этой широты составляет около 40 м/с, что позволяет оценить характерное время эволюции (вращения) вихрей как  $t = R/v$ , т. е. 30 ч. Однако нелинейные вихри могут эволюционировать существенно быстрее, а крупные — медленнее.

Механизм образования вихрей — сложная и мало исследованная проблема. Источником завихренности в атмосфере служит ее бароклинность, а именно, несовпадение направлений градиентов давления и температуры. С этой точки зрения наблюдения за результатами падения кометы Шумейкеров — Леви-9 на Юпитер дадут уникальный материал, показывающий реакцию атмосферы планеты на воздействие почти точечного мгновенного и очень мощного источника тепла.

С целью прогноза падения осколков кометы на динамику атмосферы Юпитера Ф. Ф. Каменец, А. М. Пухов, М. Ф. Иванов, В. Е. Фортос (Московский физико-технический институт и Научно-исследовательский центр теплофизики импульсных воздействий РАН) провели расчеты этого процесса на основе двумерной модели бароклиной динамики атмосферы. Основное допущение состоит в малости вертикальных масштабов по сравнению с горизонтальными. Численные расчеты (интегрирование уравнений гидродинамики на вращающейся сфере) были проведены для широтного пояса Юпитера вблизи 45° ю. ш. (на широте падения кометы). При этом учитывался

зональный перенос массы в атмосфере с характерными для данного пояса скоростями до 5 м/с. Оценки воздействия фрагментов кометы на атмосферу Юпитера на первой стадии процесса, включающей торможение осколка, его разрушение, образование и последующий подъем нагретой области, позволяют предположить, что примерно в течение земного часа в атмосфере образуется возмущение размером в сотни километров с превышением температуры над окружающей средой около 30 К для осколков размером в 1—2 км, что соответствует энерговыделению  $10^{24}$  Дж. Разброс в оценках начальных возмущений для данной энергии взаимодействия определяется тем, что модели входа кометы в атмосферу дают несколько различающиеся результаты, кроме того, все еще не ясен состав кометы и плотность осколков.

Для варианта с  $\Delta T = 30$  К наблюдается ярко выраженное формирование вихревой структуры (см. рис.) с характерными размерами на начальной стадии (длящейся несколько земных суток) около 15—20 тыс. км. Дальнейшая временная эволюция вихря, прослеживаемая на численном эксперименте, выяв-

ляет его явный дипольный характер на начальной стадии эволюции. При этом устанавливается тенденция к усилению вихря антициклонического типа и деградации циклонического.

Наблюдения за крупномасштабными вихрями в атмосферах Юпитера и Сатурна показывают, что время их жизни велико. Так, Коричневые овалы на Юпитере существуют около 30 лет. Прямое наблюдение вихрей на этой планете<sup>1</sup>, порождаемых осколками кометы, должно дать важную информацию для уточнения теории нелинейного взаимодействия вихревых структур с атмосферной микротурбулентностью.

Письма в ЖЭТФ. 1994. Т. 60. С. 67.

<sup>1</sup> Сходный вихрь обнаружен астрономами 18 июля в атмосфере Юпитера после падения осколка «G» кометы ШЛ-9. Это, по-видимому, подтверждает разумность выбранной модели и результаты численного анализа.

#### Планетология

### Падение астероидов на Солнце

Группа итальянских (Университет Пизы и Институт космической астрофизики, Рим), французских (Обсерватория Cote d'Azur, Ницца) и немецких (Институт планетной информации, Берлин) специалистов по небесной механике и планетологов рассчитала траектории 46 астероидов и кометы Энке на миллион лет в будущее и прошлое<sup>1</sup>. Все эти небесные тела сейчас пересекают земную орбиту, параметры их движения известны с высокой точностью. Результат расчетов оказался до некоторой степени неожиданным: выявилась весьма высокая вероятность падения астероидов на Солнце.

Расчеты движения на такие большие времена весьма сложны, а их точность быстро падает с удалением в прошлое или будущее. У этого есть две

причины. Во-первых, за миллион лет происходит несколько тесных сближений малых тел с планетами, при этом резко и мало-предсказуемо меняются их орбиты. Во-вторых, малые тела Солнечной системы часто попадают в резонансы с планетами: относительно расположение резонансных тел через несколько периодов почти повторяет себя. При резонансе движение становится более устойчивым, но момент, когда астероид выйдет из резонанса, трудно предвычислить точно. По этим причинам движение астероидов для уверенности и сравнения рассчитывалось по двум разным программам, учитывающим влияние всех планет, кроме маломассивных Меркурия и Плутона. Тем не менее результаты расчетов на большие времена не рассматриваются авторами как абсолютные предсказания будущего астероидов (или точные данные об их прошлом), но только как качественное и статистически вероятное описание судеб малых небесных тел.

Результаты расчетов выглядят так: в будущем 16 из 47 тел живут менее 1 млн. лет, из них 12 сталкиваются с Солнцем, а 4 покидают Солнечную систему. Аналогичный счет назад привел за то же время к потере 13 тел, из них поверхность Солнца пересекли 9. Еще 4 объекта из 47 за время основного счета вошли в опасную область параметров, и дальнейший счет показал, что они тоже вскоре врезаются в Солнце. При этом ни одного столкновения с планетами зафиксировано не было. То, что счет назад по времени приводит к гибели астероидов (чего, естественно, быть не могло), и притом примерно с той же вероятностью, что и гибель их в будущем, наглядно демонстрирует качественный и статистический характер утверждений о судьбе астероидов.

Эволюция орбит перед столкновением с Солнцем происходит по одному из трех сценариев, и все они обусловлены попаданием малых тел в планетные резонансы. Первый сценарий связан с резонансом, при котором перигелий астероида смещается с той же угловой скоростью, что и перигелий Сатурна. Это происходит, напри-

мер, с астероидом 1992 SZ. Интересно, что эксцентриситет его орбиты сначала уменьшается, через 700 тыс. лет она становится круговой, а затем с одновременной раскачкой угла наклона к эклиптике эксцентриситет возрастает до единицы, а перигелий становится меньше солнечного радиуса. Аналогичны динамические механизмы гибели астероидов 2212 (Гефияст), 4486 (Митра), 1983 LC, 1990 OA, 1991 BA и 1991 TB2.

Второй сценарий гибели динамической эволюции связан с чередованием резонансов положения перигелия астероида с перигелиями Сатурна и Юпитера; примеры — комета Энке и астероид 3551 (Верения). К столкновению с Солнцем по третьему сценарию приводит орбитальный резонанс 3:1 с Юпитером, при котором большая полуось астероида колеблется около 2.5 а. е., а наклон орбиты и эксцентриситет осциллируют с большими амплитудами; пример — астероид 5731 (1988 VP4).

Авторы считают, что расчетные столкновения в прошлом могли соответствовать очень тесным сближениям некоторых астероидов с Солнцем («чирканья» по его атмосфере), в частности, очень темная поверхность астероида Верения может быть следствием его разогрева при таком событии. Кроме того, время жизни астероидов (порядка 10 млн. лет) в масштабах Солнечной системы составляет весьма малый отрезок времени, потому эта статья ставит вопрос о механизмах подпитки популяции астероидов, пересекающих земную орбиту.

<sup>1</sup> Farinella P., Froeschle Ch., Froeschle C. et al. // Nature. 1994. V. 371. N 6495. P. 314.

# Кембрийская революция шла быстрее, чем думали

К. Н. Несис,  
доктор биологических наук  
Москва

**Ж**ИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ зародилась по крайней мере 3,5 млрд. лет назад. Но подавляющую часть этого времени она была представлена мелкими организмами, бактериями и одноклеточными. Около 600 млн. лет назад появилась эдиакаарская фауна, состоящая из довольно крупных многоклеточных животных, но мягких, не имеющих скелета. Несмотря на то, что в это время жизнь развивалась спокойно. А затем произошел взрыв биологического разнообразия: природа изобрела скелет. Начался новый период — кембрийский, новая эра — палеозойская, новый эон — фанерозойский, продолжающийся и поныне (напомним, что фанерозой включает палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры).

За короткий период в начале кембрия возникли все основные типы скелетных организмов: фораминиферы и радиоларии из простейших, губки, моллюски, ракообразные, плеченогие, иглокожие, а также ныне уже вымершие трилобиты, хиолиты, конодонты, археоциаты и многие, многие другие<sup>1</sup>. Некоторые из них, возможно, возникли и раньше, но скелетом обзавелись только в кембрии. И скелеты у них были разные: наружные и внутренние, кальцитовые, фосфатные, кремниевые, хитиновые панцири и т. п.

Кембрийские отложения известны во многих местах нашей планеты, но отложения нижнего кембрия лучше всего представлены (и изучены) на северо-востоке Сибири, поэтому международная стратиграфическая шкала нижнего кембрия основана на разрезах, изученных в Якутии В. В. Миссаржевским, А. Ю. Розановым и другими отечественными палеонтологами.

Когда все это произошло, и сколь быстра была биологическая революция? Ответ упирается в проблему точной датировки отложений. До недавнего времени датой начала кембрия считали то ли 600, то ли 590, то ли 570 млн. лет назад, но разброс этих дат составлял целых 70 млн. лет — больше, чем прошло времени от вымирания динозавров до сегодня. В 1980-е годы разброс уменьшился, однако оставался еще солидным, 20—25 млн. лет. Проблема в том, что наиболее надежная на сегодня методика определения абсолютного возраста столь древних пород — урано-свинцовая, основанная на анализе соотношения изотопов свинца <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb и урана <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U в зернах минерала циркона, — требует изучения кусочков изверженных пород, которые залегали бы среди осадков в точно известном горизонте. А их не находили, и детальная стратиграфия нижнекембрийских отложений<sup>2</sup> вообще не имела

абсолютных датировок. Положение изменилось, когда J. P. Grotzinger (Массачусетский технологический институт, Кембридж, США) и П. Н. Колосов (Якутский институт наук о Земле) обнаружили искомые камешки в прослоях пирокластической брекчи среди осадочных пород самого начала кембрия: они залегали непосредственно над позднекембрийскими (вендскими) отложениями — на р. Хорбусуонке, правом притоке Оленека, и в Хараулахских горах на правом берегу нижней Лены. Эти места находятся в северной Якутии, далеко севернее 70° с. ш. Возраст камешков определили сотрудники Массачусетского технологического института S. A. Bowring и С. E. Isachsen; в работе участвовали также палеонтолог А. H. Knoll (Гарвардский университет) и студент Sh. M. Pelechaty (Массачусетский технологический институт). Статья этих шестерых авторов стала сенсационной<sup>3</sup>. Начало кембрия было датировано точно: 543,9 млн. лет с возможной ошибкой ±0,2 млн. лет. Точность такая же, как если бы древнегреческую амфору датировали чисто физическим методом с ошибкой в один год!

Первая эпоха кембрия называется манькайским ярусом. Тогда возникли немногочисленные еще брюхоногие моллюски, хиолиты, конодонты и дру-

© Несис К. Н. Кембрийская революция шла быстрее, чем думали.

<sup>1</sup> Крылов И. Н. Не заре жизни. М., 1972; Розанов А. Ю. Что произошло 600 миллионов лет назад. М., 1986.

<sup>2</sup> Миссаржевский В. В. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1982. Т. 57. Вып. 5. С. 52—67.

<sup>3</sup> Bowring S. A. et al. // Science. 1993. V. 261. № 5126. P. 1293—1298.

ге организмы сомнительного систематического положения. Они уже имели раковины, но биоразнообразие их было немногим выше, чем разнообразие появившейся за 30 млн. лет до того эдиакарской фауны. И длился этот период «затишья перед бурей» 11—14 млн. лет. Приблизительно 530 млн. лет назад, в томмотском ярусе, биоразнообразие сразу и бурно увеличивается. Появились археоциаты, губки, плеченогие, а в следующем, атдабанском ярусе — ракушковые рачки, знаменитые трилобиты, господствовавшие в морях без малого 300 млн. лет, почти до конца палеозоя, и многие другие. В следующем ярусе, ботомском, завершающем нижний кембрий, биоразнообразие еще несколько выросло: возникли, например, иглокожие, но в общем оно уже «вышло на плато». Максимум биологическое разнообразие достигло в среднем кембрии, к которому относятся знаменитые сланцы Берджесс в Британской Колумбии (Канада), сохранившие великое множество отпечатков странных ископаемых. К самому концу кембрия оно, однако, немного понизилось. По мнению выдающегося биолога С. Дж. Гулда, общее число типов и классов организмов в среднем кембрии (если учесть странных животных из слоев Берджесс, которых нельзя причислить ни к одному из ныне существующих типов и классов) было даже выше, чем сейчас, хотя в то время еще не появились ни позвоночные, ни голосеменные и покрытосеменные растения.

Так вот, по данным ученых из Кембриджа и Якутска, общая продолжительность томмотского и атдабанского ярусов была меньше 10 млн. лет (скорее всего, 5—6 млн.), что составляет половину продолжительности маньчжуйского яруса. Ботомский ярус длился около 10 млн. лет, а весь средний и верхний кембрий — 10—15 млн. Завершился кембрийский период 510—505 млн. лет назад. Начался ордовик; тогда биоразнообразие снова увеличилось, но в основном за счет перестройки экосистем, а не возникновения новых планов строения.

Итак, основная часть современного биологического разнообразия морских беспозвоночных на уровне типов и классов сформировалась за 5—6 млн. лет. С точки зрения человека — время огромное. Пять миллионов лет назад, в самом начале миоцена, по суше бродили совсем иные звери, чем теперь, а нынешних не было и в помине. Но то — на суше и среди позвоночных, ведь их эволюция протекала очень быстро. А в морях среди беспозвоночных эволюция шла намного медленнее, и большинство родов, да и многие виды были такими же, как теперь. Продолжительность существования одного рода морских беспозвоночных в среднем для всего полумиллиардного фанерозойского зона — 10,6 млн. лет. Средний род трилобитов в ордовике существовал 6,3 млн. лет. Однако в кембрии, по новым якутским датировкам, средний род трилобитов существовал меньше 1 млн. лет, а средний вид — 750 тыс. лет. Иными словами, скорость эволюции была тогда на порядок выше, чем ныне. Никогда больше в истории жизни в море не возникали так быстро столь многие типы, классы и отряды, отметил, комментируя статью Бауринга с соавторами, палеонтолог Дж. Дж. Сепкоски<sup>4</sup>.

Чем был обусловлен кембрийский взрыв биологического разнообразия? Гипотез множество. Например, считалось, что в первичной атмосфере Земли не было кислорода и только на границе докембрия и кембрия его количество достигло уровня, при котором возможна жизнь достаточно крупных многоклеточных животных, — около 1 % содержания кислорода в современной атмосфере. Но и тогда кислорода было слишком мало, чтобы мог сформироваться озоновый слой, защищающий живые организмы, в том числе и обитателей морского мелководья и самых верхних слоев водной толщи, от вредного ультрафиолета (УФ-лучи погло-

щаются в первых метрах морской воды); полагали даже, что наружный скелет кембрийских животных укрывал их от ультрафиолетового излучения Солнца, однако современные данные не подтверждают этого предположения<sup>5</sup>. Повышение содержания кислорода в атмосфере шло постепенно и с сильными колебаниями, к тому же достаточно крупные (до 1 м) многоклеточные, но бесскелетные животные существовали за десятки миллионов лет до начала кембрия. Высказывалась гипотеза, что причиной кембрийского взрыва биоразнообразия послужило крупное тектоническое событие — перемещение тектонических плит земной коры. Тоже не очень убедительно — ведь такие перестройки происходили не раз и до, и после кембрия.

Скорее всего, разгадку надо искать в самой жизни. Скелет — это орудие защиты, броня. Но броня не может возникнуть раньше, чем появилось орудие нападения, будь то палица, стрела, ядро, снаряд или ракета. Видимо, скелет появился тогда, когда появились хищники, и потому, что они появились. Вполне вероятно, что попытки сожрать своего беспозвоночного собрата делались задолго до кембрия, может быть, миллиард лет назад, а то и больше, но то ли хищники были еще слишком мелки и слабы, то ли даже бесскелетные животные умели от них защищаться, но особой нужды в скелете (раковине, панцире) не было. Мы еще толком не знаем, что за хищники появились в кембрии; по палеонтологическим данным, в океане тогда жило куда больше жертв, чем хищников. Не знаем мы и той непосредственной причины, что послужила толчком для «скелетной революции» кембрия. Но мы уже знаем: 530 млн. лет назад жизнь в океане достигла того порога сложности, преодолев который и смогла начаться бурная эволюция новых типов и классов. И все это произошло за какие-то 5—6 млн. лет.

<sup>4</sup> Kerr R. A. // Science. 1993. V. 261. № 5126. P. 1274—1275.

<sup>5</sup> Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. История атмосферы. Л., 1985.

## Охрана окружающей среды

### Искусственные рифы из списываемых танков

Летом 1994 г. первые 200 американских танков-амфибий типов M48 и M60 были сброшены за борт в Мексиканском заливе у берегов штата Алабама. Это мероприятие осуществлено в соответствии с программой, совместно утвержденной Управлением охраны природной среды, Национальным управлением рыболовства и рыбководства, командованием армии, ВМФ и Береговой обороны США, а также правительствами ряда южных штатов.

Ранее подобные операции меньшего масштаба уже проводились с пришедшими в негодность автомашинами, судами и баржами, а власти штата Флорида собирались поступить так с выработавшим свой ресурс пассажирским самолетом «Боинг-727».

Наблюдения показали, что создаваемые таким образом искусственные «рифы» способствуют жизнедеятельности многих морских организмов; в первую очередь это благоприятно для рыб, населяющих естественные коралловые постройки. Танки с их мощной броней (местами до 10 см толщиной) могут служить для них (по крайней мере на 50 лет) местом укрытия и размножения. Согласно подсчетам, рост численности рыбы за такой срок принесет местному рыболовству более 7 млрд. долл. прибыли.

Предполагается, что за первыми двумя сотнями на дно прибрежных вод юга США пойдут еще несколько тысяч танков. Стоимость подготовки их к этой операции (перевозка и т. п.) оценивается в 2—3 тыс. долл. за одну машину. Существует план, согласно которому резервисты армии США в порядке обучения и тренировок будут демонтировать двигатели, очищать баки от горючего, устранять смазочные материалы, которые могли бы загрязнить воды и навредить морским организмам. Этот же полувойсковой контингент возьмет на себя погрузку боевых машин на железнодоро-

жные платформы и перегрузку их на баржи. Помимо властей соответствующих штатов часть расходов добровольно готовы понести нефтедобывающая фирма «Мобил ойл» и Южная Норфолкская железнодорожная компания.

New Scientist. 1994. V. 142. N 1926. P. 11 (Великобритания).

## Охрана природы

### Медведь-беженец

Военные действия на территории бывшей Югославии оборачиваются бедой не только для людей: встревоженные бурые медведи вынуждены покидать вечнозеленые гористые леса Боснии и Герцеговины и бежать на север в Словению и спокойную Италию.

Численность бурых медведей в Боснии и Герцеговине точно неизвестна. В Словении их было около 300. На территории Италии существуют две популяции этих животных: в северо-восточной предальпийской области Трентино (всего шесть-семь особей) и на юге, в Национальном парке Аbruццо (около 150). Недавно один «беспризорный» годовалый медвежонок появился в пригородном парке Триеста. Еще несколько медведей-беженцев были обнаружены на территории южной Австрии.

Общая численность бурых медведей в Западной Европе давно идет на убыль. Обеспеченный этим Всемирный фонд охраны дикой природы провел в январе 1994 г. в Любляне (Словения) конференцию, провозгласившую начало кампании за сохранение буроого медведя. Во всех новых государствах бывшей СФРЮ остается в силе старый югославский закон, позволяющий крестьянину убить медведя, если тот напал на домашний скот или виновен в потраве урожая. Сейчас предпринимаются усилия, чтобы изменить этот закон в пользу медведя. Одновременно ведется разъяснительная работа среди жителей стра-

ны о необходимости сберечь этого зверя.

Положительным примером может служить Италия, где фермер, понесший ущерб от медведя, волка или орла, получает возмещение от местных властей. Чтобы медведи не стали жертвой браконьеров, их пытаются удержать в пределах Национального парка Аbruццо; с этой целью в парк постоянно завозят яблоки. Итальянцы охотно откликнулись на призыв: в «медвежий фонд» страны собрано около 500 тыс. фунт. ст. Вероятно, часть этой суммы будет обращена в пользу медведей-беженцев.

New Scientist. 1994. V. 141. N 1912. P. 9 (Великобритания).

## Охрана природы

### Где природа богаче!

Профессионалы в области охраны природы зачастую вынуждены принимать решения относительно того, какому именно региону следует отдать приоритет в приложении их усилий.

Сравнительную оценку различных стран Африки по богатству флоры и фауны выполнил эколог D. Pomeroy (Македонецкий университет, Кампала, Уганда).

Наибольшее разнообразие растительных видов присутствует в территориях следующих государств, перечисленных в порядке убывания биоразнообразия: Южно-Африканская Республика, Танзания, Камерун, Габон и Свазиленд.

Млекопитающими наиболее богаты Уганда, Того, Кения, Камерун и Заир. Заир, в частности, возглавляет список территорий по разнообразию видов африканских бабочек. «Сухопутными» видами птиц в наибольшей степени отличаются окрестности горы Камерун, Восточно-Африканское нагорье (главным образом в Кении) и некоторые районы Анголы. Водоплавающими и околводными птицами богаче всего Восточная Африка.

Science News. 1994. V. 145. N 4. P. 63 (США).

# Как образовались «гигантские ледяные жилы»

В. В. Колпаков



Вадим Викторович Колпаков, старший научный сотрудник Инженерно-технического центра при Московской горной академии. Занимался геологической съемкой в Забайкалье, Саянах, Якутии. Изучал четвертичные отложения долин Лены, Алдана, Вилюя и других рек, работал на Полярном Урале, в Белоруссии, Кызылкуме. Автор статей по палеогеографии, геоморфологии малых форм рельефа, дефляционным пустыням и др.

**У** ПУТЕШЕСТВУЮЩИХ по равнинам Якутии незабываемое впечатление оставляет подземный лед, обнажающийся по берегам рек, озер и арктических морей.

В крутых и отвесных обнажениях ледяные тела имеют вид вертикально вытянутых жил и клиньев, а иногда и целых стен с тонкой вертикальной слоистостью. Такого типа лед называют повторно-жильным. Выстывая и сжимаясь зимой, многолетнемерзлый грунт разрывается трещинами. По мере весеннего и летнего разогрева он снова расширяется и стремится сомкнуться. Тепловая машина действовала бы незаметно, если бы в трещины ничего не попало. Однако в природе трещины нередко

заметаются песком, осыпаются их стенки, но, что особенно важно, лед в них может накапливаться. Заклинивающий материал мешает трещинам сжиматься и приводит к деформации грунта, лед же пластичен и способен выдавливаться вверх.

Но вместо этого тонкие (от нескольких миллиметров до 2—3 см) сезонные жилки не только не исчезают, но, прислонясь одна к другой, образуют ледяные тела, во много раз более широкие и даже гиперболически широкие по отношению к перемежающемуся с ними грунту. Поэтому ледяные тела часто принимают за гигантские жилы.

Поскольку автору приходилось знакомиться со многими выходами на поверхность и деталями строения повторно-жильного льда, у него сложилось представление об образовании льда, отличное от традиционных. Обычно считают, что объем для накопления подземного льда мог освободиться, во-первых, при выпахивании льдом стенок трещин и выволакивании материала вверх. При этом расширяются клинья, пополняемые льдом из трещин. Последние раскрываются посередине — предельный угол расширения около  $90^\circ$ , глубина до 2—3 м. Выпаханный грунт создает на поверхности валики, снос с которых в канавку, образующуюся надо льдом, предохраняет лед от таяния. Преобладание льда над грунтом таким способом не достигается. Клинья обильны в зоне тундры — на поймах рек, морских и озерных осушках. В наше время они неустойчивы, и когда одни развиваются, другие тают.

Второй и более признанный среди исследователей способ освобождения пространства для льда — разжатие льдом мерзлого грунта. Такое объяснение напрашивается при виде клиньев и тонких жил, но существование прямых протяженных «жил» шириной в несколько метров завело носителей идеи разжатия-расклинивания в тупик; возникли самые невероятные версии, например о размягчении мерзлого грунта при очень сильных морозах и выжимании его льдом, как пасты из тюбика, или что морозобойные трещины перемешаны по всему объему жил.

Нет смысла приводить в деталях и оп-

© Колпаков В. В. Как образовались «гигантские ледяные жилы».



«Гигантские ледяные жилы» — ледяная залежь со столбами грунта (район Верхнеколымска). Слои грунта не несут признаков выжимания льдом, надледная покрывка строго выдержана по толщине, ее стыки с грунтовыми столбами резкие.  
Фото автора

ровергать подобные гипотезы и отсылать читателей к их авторам и литературе. Достаточно остановиться на главном: мерзлая земля прочнее льда, о чем знает каждый землекоп; куском льда в мерзлом грунте борозду не прочертишь, зато на талой земле это не проблема. Второе важное обстоятельство: слои грунта, заключенного среди преобладающего льда, в массе случаев не деформированы. Горизонтальные или слабопрогнутые между льдом слои, не меняя толщины, резко упираются в лед. Среди них есть даже прослой торфа, выжимание которых откуда-то снизу немислимо.

Как же все-таки лед вытеснил грунт? Или, может быть, он вовсе его не вытеснял?

Эти вопросы относятся к проблеме формирования едомы — самой льдистой на Земле уникальной покровной толщи, по-

ля и останцы которой разбросаны по всей Якутии от Вилюя до Колымы. К ней относятся почти все ледяные тела, напоминающие крупные жилы, и иных мы касаться не будем. Читатели «Природы» знакомы с едомой по статье С. В. Томирдиаро<sup>1</sup>.

Едома построена в период зырянского и сартанского оледенений (70—10 тыс. лет назад) из льда и золовой пыли, преобразованной почвенным и другими процессами в супесь, ее мощность — от 2 до 70 м. Наиболее отчетливо механизм ее образования раскрывается в арктической зоне, где содержание льда 90 % и более, а грунт во льду сосредоточен в форме столбов шириной 1,5—2 м. Распределение столбов равномерное, кратчайшее расстояние между ними около 8 м. Южнее, где ширина льда и столбов на вертикальном срезе выравнивается и кажется, что грунта и льда поровну, льда в действительности 75 %, поскольку грунт им окружен.

Таким образом, едома, в которой пре-

<sup>1</sup> Томирдиаро С. В. Останцы растаявшей Арктиды // Природа. 1994. № 3. С. 98—107.



обладает лед, представляет собой не грунтовую массу, рассеченную решеткой из ледяных жил, а ледяную залежь, армированную грунтовыми столбами.

К механизму формирования залежи из тонких пластинчатых сезонных порций льда целесообразно подойти, реконструируя процесс с самого начала<sup>2</sup>.

Похолодание климата привело к развитию многолетней мерзлоты. При прогрессирующих морозах мерзлый грунт все более и более сжимался и, наконец, раскололся на морозобойные блоки. В трещинах появился лед, и когда он не полностью исчез за лето, началось подземное трещинное оледенение. Оно распространялось не повсеместно, скальные и галечниковые сухие грунты не охватывало, но влажные мелкоземы были для него весьма благоприятны. До приноса пыли ледяные тела расширялись, как клинья, и на подробно-

стях этого процесса мы не останавливаемся.

Внимания заслуживает само морозобойное растрескивание. Чем гуще, шире и глубже трещины, тем больше места предоставляется для образования льда. Все три параметра зависят от того, насколько изменяется температура в мерзлом грунте.

Раз возникнув, мозаика из блоков оказалась очень инертной. Это видно по столбам грунта, занимающим осевые части блоков. Столбы протянулись от низа до верха едомы. При очень сильных морозах блоки раскалывались на четыре и посреди столбов образовывались новые тонкие ледяные жилы.

Второй фактор, влиявший на накопление льда, — степень заполнения льдом трещин. Выяснить, от каких конкретных условий она зависела, трудно. Воздушные пузыри и полости среди льда не редкость.

Лед, накапливавшийся одиночными порциями, распределялся между блоками в основном симметрично, поскольку температурное расширение у них выравнивалось. Если ледяная жилка прирастала к блоку А, то в следующую зиму блок А испытывал меньшую усадку, чем смежный блок Б, трещина раскрывалась шире со сто-

<sup>2</sup> Колпаков В. В. Механизм формирования грунтоледяных толщ // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1982. № 4. С. 87—93.

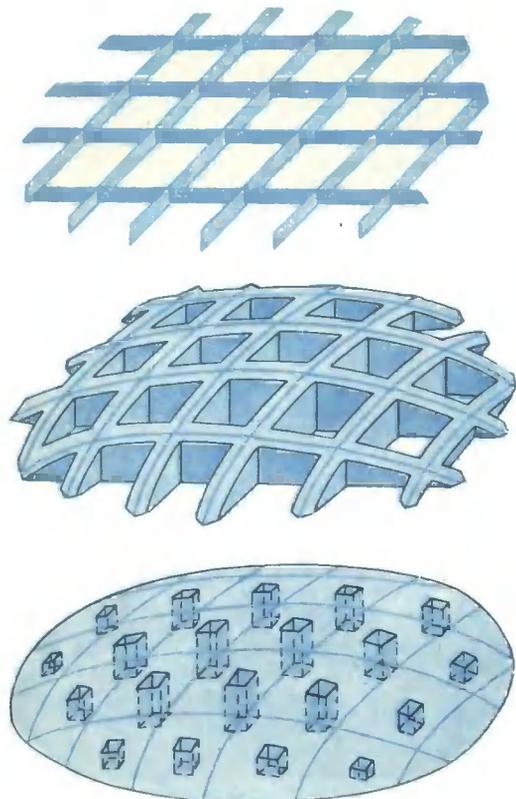


Схема подземных ледников в случае, если они были бы освобождены от грунта. Вверху — решетка из жилки одного сезона; в середине — решетчатый повторно-жильный ледник; внизу — залежь с колодцами на месте грунтовых столбов. Тонкие темные линии на нижних рисунках — лед последнего сезона.

роны блока Б и новая сезонная жилка выростала в основном на территории блока Б.

В некоторых случаях порядок нарушался, например под склонами, с которых приносилось много материала. При мощном перекрытии трещинная система развивалась на нем заново, применительно к новым грунтовым, климатическим и другим условиям.

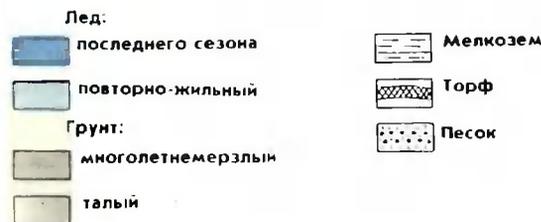
Мы обрисовали обстановку, создающую подземное оледенение. Теперь рассмотрим условия его сохранения.

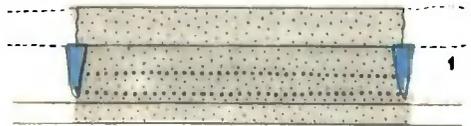
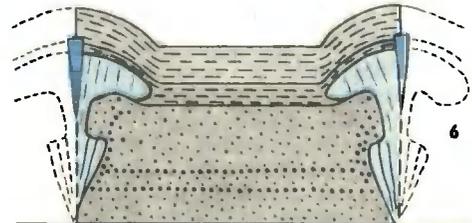
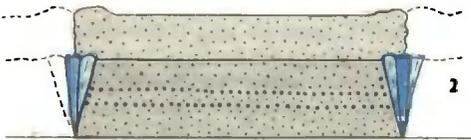
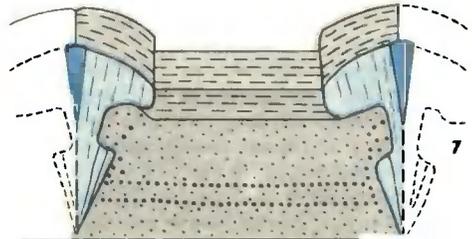
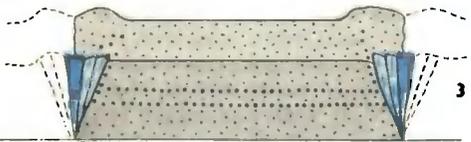
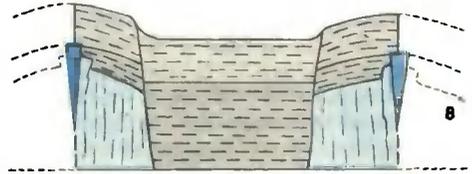
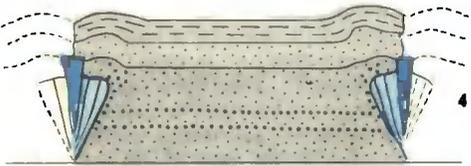
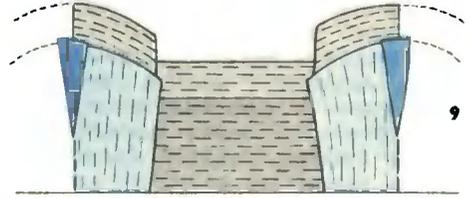
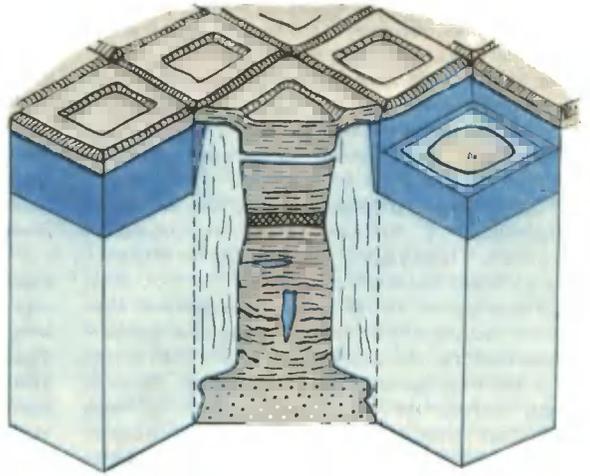
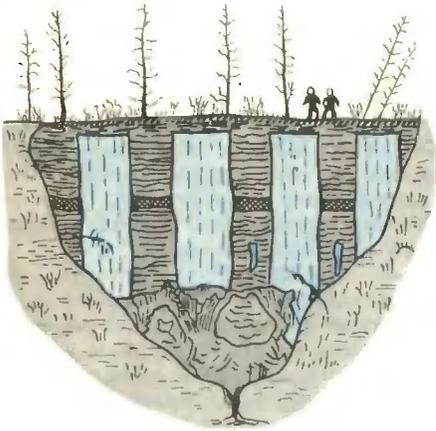
Лед, образовавшийся в трещине, прогревается в верхней части вместе с грунтом летним теплом и здесь исчезает, из нижней же части он продолжает выжиматься к границе с талым грунтом, и, если тепла для его плавления не хватает, возникает органичное, как два полюса маг-

нита, сочетание лед-козырек. Козырек сохраняет повторно-жильный лед от прогрева сверху полностью или частично, а иногда оказывается недействующим. Его не следует путать с сезонноталым слоем, как это обычно делают. Он может быть и тоньше и толще.

Козырек и лед находятся в постоянном динамическом взаимодействии. Система направлена на то, чтобы ежегодную прибавку льда точно компенсировать его плавлением, но год коду рознь, реакция на изменение условий у льда и козырька разная, и идеальный баланс не достигается. Суть их взаимодействия в том, что если лед начинает поступать больше, козырек, приспособленный к старым условиям, выпячивается, образовавшийся валик начинает нивелироваться поверхностными процессами, козырек утоньшается, его теплопроводность возрастает, плавление льда под ним увеличивается, система подходит к новому равновесному состоянию. Слишком тонкий козырек вызывает деградацию льда и, если, западая, он не будет надстроен грунтом со стороны выпячивающегося центра полигона, лед вытаяет весь. Прямую роль играет и изменение глубины протавивания. Надо льдами едомы козырьковый слой поразительно «выдержан» и в целом представляет собой настоящую оболочку. Он явно зарегулирован, но в разных районах Якутии по-разному.

Схема подземного повторно-жильного оледенения. Вверху слева — типичное обнижение, справа — схема сложения из морозобойных блоков. Внизу — схема развития на примере блока, показанного в разрезе: 1 — развитие многолетней мерзлоты, растрескивание, вычленение блока, появление льда в трещинах; 2, 3 — развитие клиновидных ледяных жил, эпигенетических по отношению и вмещающей породе; 4 — начало надстройки блока осадками и роста ледяных жил вверх; 5 — полное закрытие льда от таяния, нарастание и раздвижение льда; 6 — достижение льдом бокового упора в виде осадка, успешного замерзнуть под воронкой, переход к однонаправленному росту ледяного тела вверх; 7 — отрыв козырька от столба; 8—9 — регуляция ширины столба; 8 — расширение при возрастании роли накопления минеральных осадков, поднятие границы льда отстает от поднятия границы мерзлоты под воронкой, часть козырька успевает примерзнуть к столбу, 9 — сужение столба при усилении процесса накопления льда — лед входит в боковой контакт с талым грунтом и обжимает верх столба.





К телам повторно-жильного льда козырек приспособляется как к единому целому, причем чем они шире, тем большее время требуется для перестройки его толщины и тем меньшее — для удаления прироста льда, если козырек пропускает тепло. Особое положение занимает свежая сезонная жилка в не полностью протаивающем широком козырьке. Лед ее доходит до границы с тальм грунтом, образуя проросток. Последний может быть образван и пучком жилкок.

Появление пыли и ее осаждение «перевело» подземное оледенение на режим параллельного накопления, или сингенеза льда и грунта. Козырьки утолщились пылью, подход тепла ко льду прекратился, весь новый лед стал идти «на прирост», поднимать козырьки и раздаваться вширь. По мере расширения валиков снос с них грунта в сделавшиеся воронкоподобными центры полигонов усиливался, его накопление на дне воронок все ускорялось. Вместе с тем под воронками поднималась граница многолетней мерзлоты, и наконец расплзшийся лед уперся в мерзлый грунт основания аккумулятивных, сложенных из материала едомы, столбов. Ледяной массе оставалось расти только вверх.

Исследователи едомы как-то не обращали внимания, что минеральный осадок отлагался не на всей ее поверхности, а оказался в воронках и затем в столбах, занимающих всего до 10 % площади. Перемещение грунта в воронки безусловно должно было обеспечиваться достаточной высотой валиков. Чтобы конвейер не останавливался, необходимый для него профиль должен был поддерживаться, а следовательно, лед под валиками и столбы под воронками должны были приращиваться с равной скоростью.

Палеогеографические реконструкции не учитывали, что едома в период формирования имела функционально необходимый рельеф, который складывался из мелких (на севере порядка 10—12 м в поперечнике) полигонов с небольшими плоскодонными или лункообразными воронками посередине. Рельефу этому нет аналогов в современности. В соответствии с ним пребывал и ландшафт, степной на валиках и тундровый, тундрово-кустарниковый или болотцевый в воронках, а пыль, оседавшая на валиках, проходила переработку и там и в другом ландшафте.

Теперь остановимся на главном: как выравнивался вертикальный прирост льда и столбов в условиях, когда поступление льда и пыли происходило независимо и могло

варьировать у той и другой субстанции как угодно. Для этого мы обращаем внимание на линейный стык между козырьком и столбом, которому не придавалось значения. Нами для него было предложено название «калибратор». Здесь и определяется, какую долю в горизонтальном сечении должен занять столб, а какую лед, быть ли ледяному телу похожим на гигантскую ледяную жилу или остаться узким.

Механизм действует по следующей схеме: если калибратор в конце летнего сезона остановится вровень с границей мерзлого и талого грунта, то сечение столба сохранится. При возрастании роли накопителя льда калибратор поднимется выше, лед войдет в боковой контакт с тальм грунтом и сколько-то обожмет, сузит столб в формирующейся верхней части. Если возрастет скорость накопления грунта, то калибратор не выйдет из контакта с мерзлым столбом, часть непротаявшего козырька примерзнет к столбу и в следующем цикле будет обломана в соответствии с профилем расширяющейся и выполаживающейся воронки. Столб в результате этого расширится. Калибратор в зависимости от изменения климатических условий может ежегодно менять позиции и действовать как весы, то расширяя, то сужая столб.

Таким образом, пополняясь сверху пылью и в верхних пяти метрах льдом (через трещины), накопилась едома. Структура ее из столбов и массы льда складывалась буквально «под ногами» — в первом метре от поверхности, и никакого разжима-расклинивания мерзлого грунта и колоссального давления для этого не требовалось. Парадокса в образовании «гигантских ледяных жил» или подземных ледяных залежей из повторно-жильного или морозобойно-трещинного льда нет. Подземное оледенение развивалось по своим строгим законам, прежде всего касающимся взаимоотношения льда и вмещающего грунта.

При виде повторно-жильного льда следует обратить внимание на козырек и калибраторы. На какой климат зарегулирован козырек? Сужается или расширяется ледяное тело у калибраторов, резки они или сглажены? Сужение столбов едомы возле калибраторов показывает, что накопление пыли прекратилось ранее, чем сократился прирост льда. Можно задать вопросом, еще не решенным для едомы: какая часть льда вытаяла в процессе ее накопления? Не прикрыта ли козырьком чисто ледяная залежь? Если в козырьке торф, то он не способен сползать с валиков и образовывать столбы.

# Грозовые тучи над российской наукой

К. Л. Сорокина,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

**ТАК НАЗЫВАЕТСЯ** майский выпуск журнала «Science» (1994. Т. 264), значительная часть которого посвящена современному положению науки в России. Вниманию читателя предлагается краткий обзор статей из этого номера, дающих «взгляд со стороны» на состояние науки, действительно внушающее опасение.

Чтобы дать разностороннюю оценку ситуации в условиях экономического кризиса и политической нестабильности, сотрудники журнала — редактор отдела европейских новостей D. Cleru и корреспондент в Европе P. Aldhous — приезжали в Россию осенью 1993 г. и весной 1994 г. В поисках ответа на вопрос о том, что ожидает российскую фундаментальную науку, они проинтервьюировали десятки ученых в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, а также уехавших работать за границу, и западных экспертов. В России журналисты беседовали в основном с руководящими работниками — директорами, их заместителями, учеными секретарями институтов. Из всего разнообразия естественно-научных дисциплин были выбраны молекулярная биология, физика, исследование космоса, астрономия, математика, науки о Земле. Лейтмотив мнений всех опрошенных — необходимость адекватного финансирования для сохранения науки как формы культурной жизни общества.

В настоящее время, когда государственные расходы на науку резко сокращены (в большей степени, чем практически любая другая статья расходов), многие научные учреждения находятся на грани закрытия: они не имеют средств для нормальной жизнедеятельности, еле-еле могут выплачивать очень скромные зарплаты своим сотрудникам, лучшие ученые уезжают за рубеж. В этих условиях важную роль в выживании российской науки играет помощь Запада, значение которой, по словам министра науки России Б. Г. Салтыкова, трудно переоценить. Эта помощь осуществляется в виде предоставления грантов

исследователям в России (как, например, 1773 долгосрочных гранта Международного научного фонда Сороса) и организации совместных работ с западными учеными (так, 509 грантов присудила совместным проектам Международная ассоциация по развитию сотрудничества с учеными стран бывшего СССР). Помимо денежной поддержки система грантов изменяет саму культуру науки, заставляя исследователей соревноваться за их предоставление; эту новую для России процедуру пытается ввести и организованный в 1992 г. Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ). Однако меры по поддержке с Запада являются паллиативными, объем их все же недостаточен (как, впрочем, и финансирование со стороны РФФИ, курирующего сейчас около 6 тыс. проектов), а продолжительность пока неизвестна. Для спасения российской науки, имеющей богатые традиции и славную историю, необходимо, чтобы правительство России обеспечило достаточными средствами лучших ее представителей. По мнению экспертов Организации по экономическому сотрудничеству и развитию, исследовательская база в России в советское время чрезмерно разрослась и ее следует сократить вдвое. Но если правительственная политика в отношении финансирования науки не изменится в ближайшее время, исследовательские работы даже в таком сокращенном виде могут не уцелеть.

В каждой отдельной области науки эти общие проблемы преломляются по-своему; вот каким представляется журналистам положение в выбранных ими направлениях.

**Молекулярная биология**, пережившая тяжелые гонения в 40—50-х годах, вышла из тени и вступила в эпоху расцвета в конце советской эры. Благодаря тому, что исследования в этой области не требуют крупных капитальных вложений и эксплуатационных затрат, здесь положение несколько легче, а настроения ученых оптимистичнее, чем в других областях. Сейчас средний по размеру грант в 15 тыс. долл. в достаточной степени обеспечивает работу небольшой группы в течение одного-двух лет. Кроме того, сам характер этой науки способствует развитию международных связей,

Таблица 1

## Российские институты, получившие более 10 долгосрочных грантов

Институт	Город	Число грантов
МГУ, химический факультет	Москва	66
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН	Санкт-Петербург	44
Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН	Москва	41
Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН	Москва	40
Институт общей физики РАН	Москва	36
МГУ, физический факультет	Москва	33
Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН	Москва	31
Институт прикладной физики РАН	Нижний Новгород	28
МГУ, Институт физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского	Москва	27
Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН	Москва	27
Институт катализа СО РАН	Новосибирск	25
Институт радиотехники и электроники РАН	Москва	25
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН	Москва	24
РНЦ «Курчатовский институт»	Москва	23
Институт космических исследований РАН	Москва	23
Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Саверцова РАН	Москва	20
МГУ, биологический факультет	Москва	20
Объединенный институт ядерных исследований	Дубна	19
Институт теоретической и экспериментальной физики	Москва	19
Институт химической физики РАН	Черноголовка	19
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН	Москва	18
Математический институт им. В. А. Стеклова РАН	Москва	18
Институт физики твердого тела РАН	Черноголовка	17
Кардиологический научный центр РАМН	Москва	17
Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН	Москва	16
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН	Москва	16
Институт цитологии и генетики СО РАН	Новосибирск	16
Институт белка РАН	Пущино	15
Институт ядерной физики СО РАН	Новосибирск	15
Институт безопасного развития атомной энергетики РАН	Москва	15
Институт физики металлов УрО РАН	Екатеринбург	15
МГУ, механико-математический факультет	Москва	13
Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН	Москва	13
Институт физической химии РАН	Москва	13

Продолжение табл. 1

Институт	Город	Число грантов
Онкологический научный центр РАМН	Москва	12
Институт биоорганической химии им. М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН	Москва	12
Институт цитологии РАН	Санкт-Петербург	12
Университет, физический факультет	Санкт-Петербург	12
Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН	Москва	12
Институт химической кинетики и горения СО РАН	Новосибирск	11
Геологический институт РАН	Москва	10
Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН	Москва	10
Институт ядерной физики им. Б. П. Константинова РАН	Санкт-Петербург	10
Институт математики СО РАН	Новосибирск	10
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН	Москва	10
Институт спектроскопии РАН	Троицк	10

поскольку можно приготовить исследуемый материал в России, а изучать его, например дорогостоящими методами ЯМР-спектроскопии, за границей. Интернационально ориентированным центром стал Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН, в котором его директор А. Д. Мирзабеков создал международный консультативный совет, что помогло двум трем исследователям получить иностранные гранты. Директор Института молекулярной генетики РАН Е. Д. Свердлов поощряет практику временной работы сотрудников за рубежом в течение нескольких месяцев в году, позволяющую сохранять состав коллективов лабораторий.

Особенно велика западная помощь в сохранении ценнейшего российского наследия, находящегося в Санкт-Петербурге, — гербария из 6 млн. растений, хранящегося в Ботаническом институте им. В. Л. Комарова РАН, и генофонда 380 тыс. культур, которым располагает Всероссийский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова ВАСХНИЛ. Благодаря помощи Фонда Сороса и ряда других американских и международных организаций отремонтировано и снабжено пожарной сигнализацией здание Ботанического института. Институту растениеводства предоставлены компьютерные системы для создания современного каталога генофонда, изыскиваются средства на переоборудование хранилища семян в его филиале на Кубани. Но, несмотря на запад-

ные гранты, не все институты, работающие в области молекулярной биологии, смогут выжить, считает А. Д. Мирзабеков. Многие ведущие ученые видят выход в том, чтобы с западной помощью создать центры высококвалифицированных научных кадров. В. П. Скулачев, возглавляющий Институт физико-химической биологии им. А. Н. Белозерского при МГУ, предлагает базировать такой центр в Московском университете, а В. Т. Иванов, директор Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, хотел бы создать его на основе своего института. Однако Запад сейчас не готов сделать крупные вложения в один центр, поэтому А. Д. Мирзабеков предлагает дать группам — обладателям грантов — возможность переходить из института в институт, чтобы выжили лучшие из них.

**Физика** в советское время находилась в привилегированном положении по сравнению с многими другими областями науки в значительной степени благодаря щедрому финансированию исследований, связанных с нуждами обороны. Советский атомный проект породил целый ряд институтов, включая Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (теперь Российский научный центр «Курчатовский институт») и Институт теоретической и экспериментальной физики. После того как производство ядерного оружия было перенесено в закрытые города, в тех же институтах

**Таблица 2**  
Распределение долгосрочных грантов по регионам\*

Регион	Число грантов
Москва	1245
Украина	184
Россия, за исключением Москвы, Санкт-Петербурга и Новосибирска	178
Санкт-Петербург	174
Новосибирск	136
Страны Балтии	91
Страны Кавказа	48
Белоруссия	35
Страны Средней Азии	20
Молдавия	5

\* Данные табл. 2 и 3 — из отчета Фонда Сороса за 1993 г.

стали развиваться исследования по гражданским ядерным технологиям и фундаментальной науке, в частности по физике высоких энергий. В СССР были сооружены крупнейшие для того времени ускорители, такие как синхроциклотрон в Дубне (1949 г.), синхротрон в Протвине (1968 г.).

Традиционно сильной была теоретическая физика; преуспели исследователи в области физики твердого тела, полупроводников, лазеров. Однако теперь, после резкого сокращения финансирования, физика может первой из развитых областей науки прекратить свое существование в России. Многие институты сейчас не имеют возможности оплачивать счета за сильно подорожавшую электроэнергию и поддерживать в рабочем состоянии оборудование. Так, в Институте физики высоких энергий в Протвине синхротрон У-70 может работать лишь в течение двух 1000-часовых прогонов в год, а РНЦ «Курчатовский институт», для которого энергия, по словам директора по научным исследованиям и разработкам А. Ю. Румянцева, — самая тяжелая проблема, имеет задолженность за электроэнергию в 3 млрд. рублей.

В 1993 г., в год 75-летия Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН, колыбели советской физики, заместитель директора Ю. С. Гордеев с горечью констатировал, что 73 года институт развивался, а два последних года — приходит в упадок и гибнет. Оборудование и установки, изготовление которых не было завершено к началу кризиса, стоят недостроенными и разрушаются. Наиболее драматична, видимо, ситуация с протонным синхротроном в Протвине, где из-за финансовых трудностей резко снизился темп

**Таблица 3**

Распределение долгосрочных грантов по дисциплинам

Дисциплина	Число грантов
Физика	761
Биология	465
Химия	428
Науки о Земле	213
Математика	125
Астрономия	77
Механика	47

сооружения 21-километрового кольца синхротрона, что ставит под угрозу уже проделанную работу.

Институты стремительно теряют квалифицированных технических работников, нехватка которых представляет не менее острую проблему, чем «утечка мозгов». Прямая помощь Запада оказывается недостаточной; несмотря на то, что на долю физики пришлось 36 % всех грантов Фонда Сороса (больше, чем на долю любой другой дисциплины), размер гранта не позволяет оплатить, например, еще один прогон ускорителя. И хотя большинство физиков приветствуют введение принципа соревновательности при получении грантов, они осознают и недостатки этой системы. Как отмечает В. И. Симонов, заместитель директора Института кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН, под угрозой оказываются бывшее сотрудничество между различными группами и старая традиция свободного обмена идеями и данными. Самым тяжелым является то, что ученые чувствуют себя лишенными будущего; в меньшей степени ощущение неопределенности относится к исследованиям, проводимым совместно с зарубежными коллегами.

Больше всех преуспел в сотрудничестве с другими странами Объединенный институт ядерных исследований в Дубне, который создавался как интернациональный восточноевропейский научный центр и сумел до сих пор сохранить в своем составе почти все страны-участницы. Однако в целом в сегодняшней России скорее всего перспективны не гигантские программы прошлых лет, а экспериментальные исследования меньшего масштаба. По мнению А. Ф. Андреева, директора Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН, экспериментаторам придется вернуться к своим корням, к тому, с чего началась физика в России, — к небольшим экспери-

ментам. Он также полагает, что хорошие шансы выжить есть у теоретической физики, имеющей сильные традиции и не нуждающейся в специальном оборудовании. Однако в этой картине будущего нет места многим десяткам тысяч российских физиков.

**Исследования космоса**, бывшие одними из самых приоритетных в СССР и принесшие стране заслуженную славу первопроходца, не стали исключением и также страдают сейчас от недостатка средств. Россия до сих пор эксплуатирует обитаемую космическую станцию и производит больше запусков космических аппаратов, чем весь остальной мир, но грандиозные проекты, подобные прежним, в одиночку осуществить уже не может. И здесь на первое место выходит международное сотрудничество: иностранным партнерам выгодно использовать относительно дешевую российскую космическую индустрию. Так, проекты полетов к Марсу разрабатываются как международные акции; планируется создание совместной с США орбитальной станции на основе усовершенствованного варианта станции «Мир» и участие американских астронавтов в работе действующей станции «Мир» на новых исследовательских модулях «Природа» и «Спектр», которые вскоре должны быть туда доставлены. В 1995 г. предполагается запуск астрофизического спутника с 8- и 4-метровыми телескопами для изучения удаленных рентгеновских галактик и квазаров, оборудование которого разрабатывается специалистами России, Дании, Германии, Великобритании, Италии. В 1996 г. должны быть запущены четыре космических аппарата для изучения взаимодействия солнечного ветра с ионосферой, в создании которых принимают участие 14 стран. Организованное в 1992 г. Российское космическое агентство хорошо себя зарекомендовало, однако экономический хаос в России сказывается и в этой сфере: так, полеты к Марсу, намеченные на 1994 и 1996 гг., перенесены на 1996 и 1998 гг. соответственно. Тем не менее партнеры надеются на реализацию этого долгосрочного проекта, предполагающего в перспективе высадку человека на Марс; работа над ним в Институте космических исследований РАН продолжается, как заверил В. И. Мороз, руководитель исследований по планетарной физике института. Оставшаяся же программа запусков на 1995 и 1996 гг.— это, по мнению директора института А. А. Галева, минимальная программа, которая еще способна поддержать исследования космоса в России и из которой уже ничего нельзя исключить.

**Астрономия** в России, помимо трудностей, испытываемых наукой в целом, сталкивается еще и со специфической проблемой: после распада СССР многие обсерватории оказались за пределами России, в новых независимых государствах. Некоторые из них находятся вблизи зоны военных действий и совсем не работают, как Бюраканская в Армении, Шемахинская в Азербайджане, Абастуманская в Грузии. Несколькое лучше положение в Средней Азии, где работают небольшие обсерватории в Санглоке (Таджикистан), Майданаке (Узбекистан). Из-за политической нестабильности неясна дальнейшая судьба Крымской обсерватории, сотрудники которой пока поддерживают связи с московскими коллегами. В России все обсерватории, по словам сопредседателя Евро-азиатского астрономического союза Н. Г. Бочкарева, еще работают, но не хватает средств для нормальной оплаты труда, чтобы удержать более молодых ученых. Крупнейший российский 6-метровый телескоп в Зеленуке на Северном Кавказе продолжает работу, однако его бюджет гораздо ниже требуемого (лишь 20 % от прежнего). Кое-какие средства удастся привлечь, организовав платные сеансы наблюдений для западных ученых. Но это не решает финансовых проблем; многие астрономы, в особенности из стран ближайшего зарубежья, уезжают работать на Запад временно или постоянно. В Москве и Санкт-Петербурге еще сохраняется сообщество астрономов-теоретиков, но надолго ли? Ведь астрономия еще в меньшей степени, чем другие фундаментальные науки, способна принести отдачу в условиях рыночной экономики.

**Российская математика** гораздо больше по сравнению с остальными отраслями науки страдает от «утечки мозгов». Базировавшаяся на превосходном математическом образовании и считавшаяся идеологически нейтральной, она в советское время внесла существенный вклад в развитие современной математики. Однако теперь, по оценке президента Московского математического общества С. П. Новикова, из 200 наиболее известных математиков Москвы по меньшей мере половина работает за границей, и, если существующие тенденции сохранятся, российской математической школе грозит полное исчезновение. Созданный в 1989 г. и оборудованный западной техникой Международный математический институт им. Леонарда Эйлера в Санкт-Петербурге, по своему замыслу, должен стать центром общения россий-

ских и зарубежных ученых, обеспечивающим математикам в России возможность полноценно работать на современном уровне и поддерживать контакты с мировым научным сообществом. Но пока институт оживает лишь во время проведения симпозиумов, семинаров; основная цель — удерживать специалистов в России — еще не достигнута. Сделана попытка обеспечить преемственность поколений математиков при помощи Московского независимого университета, где преподаватели-энтузиасты, несмотря на материальные трудности, стараются привлечь способных молодых людей к профессиональному занятию математикой. Даже при усиленной поддержке Запада (так, Математическое общество США на эти цели собрало 700 тыс. долл.; 125 грантов получили математики от Фонда Сороса) для того, чтобы математика в России могла развиваться, должна измениться обстановка в стране. По словам алгебраиста С. И. Гельфанда, покинувшего родину в 1990 г., многие из уехавших на Запад математиков еще верят в будущее математики в России и оставляют вопрос о своем возвращении открытым.

Журналисты считают, что исследования в области наук о Земле в бывшем СССР в большей степени изолированы от мировой науки этого направления, чем любые другие гражданские исследования. Здесь иногда господствовали устаревшие представления и долго отвергались общепринятые воззрения (как, например, это произошло с теорией тектоники плит). С окончанием советской эпохи российские ученые смогли более свободно общаться с зарубежными коллегами и воспринимать современные идеи, а международному геологическому сообществу, в свою очередь, открылся доступ на территорию огромной страны, представляющей собой необъятное поле для исследований по геологии, сейсмологии, палеонтологии и другим дисциплинам.

Большой интерес для зарубежных специалистов представляет исследовательская работа с глубокими скважинами, пробуренными в научных целях (такая скважина на Кольском полуострове — глубочайшая в мире), участие в палеонтологических раскопках. Уникальна для ученых возможность изучения записей распространения сейсмических волн в земной коре после проведенных ранее серий подземных ядерных и химических взрывов на обширной площади. В тяжелых экономических условиях российские ученые пытаются обмениваться данными на коммерческой основе:

так, если сначала сейсмологические данные предоставлялись просто в обмен на их компьютерную обработку, то теперь от такого обмена данных ищут большей отдачи.

Заметный сдвиг в сторону коммерциализации работ произошел в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН, в распоряжении которого имеются 11 научно-исследовательских судов и 6 глубоководных аппаратов. Важно, чтобы проводимые по заказам прикладные работы (например, геологоразведка) не вытеснили фундаментальные исследования как таковые. Как полагает директор института Л. А. Савостин, особенно привлекательны исследования в Арктике, большая часть которой в СССР была закрыта для гражданской науки и где предполагаются большие залежи нефти и газа; он рассчитывает, что при изучении этих районов удастся одновременно решать фундаментальные и прикладные задачи. Пагубная практика сдачи судов с ценным научным оборудованием в аренду для использования в качестве паромов сейска прекращена, и открываются перспективы осуществления совместных международных исследований, в частности глубоководных — на судне «Академик Келдыш», которое имеет два подводных аппарата «Мир», спускаемых на глубины до 6 км, и является уникальной платформой для таких работ. Ряд уже проведенных совместных экспедиций, таких как плавание к Шетландским островам, дал ценные научные результаты при низких по западным меркам затратах. Таким образом, и здесь шансы для дальнейшего развития имеют работы, ориентированные на международное сотрудничество.

Итак, первоочередная задача сейчас — удерживать квалифицированные научные кадры на соответствующей работе в России и дать им возможность работать. Но не только настоящее российской науки внушает сегодня опасение — под вопросом ее существование в будущем. Особую тревогу вызывает деградация одной из лучших в мире, как это признано, систем образования. Для предотвращения этого Фондом Сороса проводится специальная программа поддержки среднего и высшего образования в России.

Мировое сообщество не должно потерять российскую науку, ибо без нее оно станет намного беднее. Это обязаны понять правительства как самой России, так и зарубежных стран. В научных кругах такая опасность уже осознается — об этом красноречиво говорит сам факт публикации подобного анализа в «Science».

## Космические исследования

### Запуски космических аппаратов в Российской Федерации: март — июнь 1994 г.

В марте — июне 1994 г. космическими службами России с космодромов в Байконуре и Плесецке запущено 13 спутников, в том числе восемь — серии «Космос».

Спутники «Космос-2275», «Космос-2276» и «Космос-2277» предназначены для отработки элементов и аппаратуры глобальной космической навигационной системы «Глонасс», которая создается, чтобы обеспечить определение местонахождения самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов. Остальные спутники «Космос» запущены в интересах Министерства обороны РФ.

Научно — исследовательский спутник «Коронас-И» предназначен для проведения комплексных исследований Солнца по международному проекту «Коронас». Научная аппаратура этого спутника и программа исследований разработаны российскими и украинскими специалистами в сотрудничестве с учеными Польши, Словакии, Болгарии, Франции и Англии.

Очередные грузовые автоматические корабли «Прогресс М-22» и «Прогресс М-23» доставили на орбитальный научно-исследовательский комплекс «Мир», где в этот период работал экипаж 15-й длительной экспедиции, топливо для единственной двигательной установки станции, воду и другие расходные материалы, а также аппаратуру и различное оборудование.

Очередной спутник связи «Горизонт» выведен на близкую к стационарной орбиту в целях дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Коронас-И»	2.III	501	541	82.5	94.7
«Космос-2274»	17.III	176	372	67	88.7
«Прогресс М-22»	22.III	260	335	51.6	90.2
«Космос-2275»	11.IV	19 124	19 124	64.8	675
«Космос-2276»					
«Космос-2277»*					
«Космос-2278»	23.IV	852	881	71	102
«Космос-2279»	26.IV	973	1019	83	105
«Космос-2280»	28.IV	198	290	70	89
«Горизонт»	20.V	34 878	34 878	1.3	1390
«Прогресс М-23»	22.V	192	247	51.6	88.6
«Космос-2281»	7.VI	192	265	82.6	88.7
«Фотон»	14.VI	229	385	62.8	90.4

\* Три спутника «Космос» запущены одной ракетой-носителем «Протон».

На спутнике «Фотон», помимо российской аппаратуры, установлен немецкий контейнер «Биобан» для проведения биологических экспериментов.

Перечисленные выше космические аппараты запущены ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Циклон», «Зенит», «Протон».

© С. А. Никитин  
Москва

Астрофизика

### Вселенная становится «моложе»!

Величина постоянной Хаббла — главный фактор при определении возраста Вселенной. Чем эта величина больше, тем, следовательно, быстрее расширяется Вселенная, и это означает, что она моложе, ибо с большой скоростью разлетающемуся миру потребовалось меньше времени, чтобы достигнуть его нынешних размеров. (Напомним, что для определения постоянной Хаббла астрономы измеряют расстояния до галактик и сопоставляют их с красным смещением линий в их

спектрах, которое и вызвано расширением Вселенной.)

В июле 1992 г. астроном R. Antezana (Чилийский университет, Сантьяго), работая на Межамериканской обсерватории в Серро-Тололо (Чили), обнаружил вспышку сверхновой звезды в одной из далеких галактик. В спектре сверхновой была сильная линия водорода, что позволило отнести ее ко II типу сверхновых, т. е. к массивным звездам, обладавшим до взрыва мощным слоем этого газа.

Новый метод измерения расстояний до таких объектов разработали в последние годы В. Schmidt и R. Kirshner (Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс, США) совместно с R. Eastman (Ликская обсерватория, штат Калифорния). Он основан на определении истинной яркости сверхновой по ее температуре и размерам разлетающейся от взрыва оболочки звезды.

Цвет сверхновой говорит о ее температуре: более раскаленная материя излучает в синей части спектра, а менее — в красной. О размерах разле-

тающейся оболочки можно судить по времени, прошедшему с момента взрыва, и скорости, с которой материя разлетается во все стороны. Скорость же можно установить по ширине спектральных линий излучения сверхновой: чем они шире, тем скорость выше. Обладая сведениями о температуре и размерах расширяющейся оболочки, можно вычислить истинную яркость сверхновой. Ее сопоставление с наблюдаемой яркостью дает возможность определить расстояние до сверхновой, а тем самым и до галактики, в состав которой она входит.

Та галактика, в которой вспыхнула сверхновая 1992 г., обладает красным смещением, равным 0,048, т. е. скорость ее удаления составляет 4,8 % от скорости света.

В. Schmidt с коллегами вычислили, что эта галактика отстоит от нас на 590 млн. св. лет ( $\pm 15\%$ ). С учетом красного смещения постоянная Хаббла оказывается равной  $81 \pm 12$  км/с на мегапарсек (1 Мпк = 3,26 млн. св. лет).

Столь высокое значение этой константы противоречит величине, предлагаемой американским астрофизиком А. Sandage (Обсерватория им. Карнеги, штат Калифорния), который определяет ее всего лишь в 50 км/с·Мпк, основываясь на изучении других сверхновых, принадлежащих к классу Ia. Такие объекты образуются, когда звезда белый карлик «отнимает» материю у своего соседа и взрывается. Ученые полагают, что при подобных взрывах всегда возникает одинаковая яркость свечения. Sandage определил ее, измерив расстояние между двумя «недалекими» галактиками, которые и породили сверхновую типа Ia. Видимая яркость далеких сверхновых типа Ia позволила установить расстояния до их галактик, что и дало возможность вычислить постоянную Хаббла. Однако Schmidt подчеркивает, что его группа измеряла расстояние до этой галактики непосредственно, не включая промежуточную информацию о близких объектах. Дальние галактики служат лучшим индикатором расширения Вселенной, так как в их движении меньше

вклад случайного разброса скоростей, а на ближние влияет искажающее воздействие тяготения местных скоплений материи.

Если результаты группы Schmidt'a верны, следует вывод, что Вселенная более молода. Насколько — это зависит от плотности наполняющей ее материи, тяготение которой действует подобно «тормозу», замедляющему расширение Вселенной. При большой плотности и медленном расширении приходится предполагать, что в прошлом оно шло очень быстро. Итак, большая плотность указывает на молодость Вселенной.

В случае, если постоянная Хаббла действительно равна 81, а во Вселенной, как полагают многие специалисты по космологии, как раз столько массы, чтобы остановить ее расширение, то Вселенной «исполнилось всего» 8 млрд. лет. Если же Вселенная обладает лишь 10 % массы, необходимой для прекращения ее «разлета», то возраст ее достигает 10,8 млрд. лет.

Однако в обоих случаях возникает один и тот же парадокс: теория звездной эволюции показывает, что древнейшим звездам, входящим в состав Млечного Пути, примерно 15 млрд. лет — может ли целое быть моложе входящих в него частей?

*Astrophysical Journal Letters*. 1994. March; *The Astronomical Journal*. 1994. April. (США); *New Scientist*. 1994. V. 141. N 1914. P. 19 (Великобритания).

#### Астрономия

### Часто ли «крошатся» кометы!

Фотоизображение кометы Шумейкеров — Леви, состоявшей из множества фрагментов, которые свидетельствовали о ее сравнительно недавнем разломе, заставило поставить вопрос, насколько часто вообще происходят подобные события. Jun Chen и D. Jewitt

(Гавайский университет, Гонолулу, США) изучили многочисленные изображения 49 комет, полученные между 1986 и 1993 гг. с помощью специальных электронных устройств, регистрирующих световое излучение с большей чувствительностью, чем это делает обычная фотопластинка. Чтобы не нарушить статистику, они исключили из рассмотрения комету Шумейкеров — Леви.

Оказалось, что три кометы, т. е. 6 % от изученного числа, явно претерпели разлом в то или иное время. У всех трех вблизи главного ядра находится еще одно — малое. Относительно двух комет (Черных и Вилсона) факт разлома был известен и ранее; относительно кометы Циффео это установлено впервые.

Обычно после разлома обломки кометы постепенно все более удаляются друг от друга; примерно через шесть лет после события фрагменты оказываются на таком удалении, что одно электронное изображение уже не в состоянии их охватить.

Это обстоятельство, с учетом процента разламывающихся комет, позволило авторам определить: средняя комета раскалывается не менее одного раза в столетие. Очевидно, что при этом, как правило, не появляются два одинаковых по размерам небесных тела. Более типичен случай, когда из двух образовавшихся ядер одно обладает размерами, примерно в 10 раз меньшими, и, следовательно, в тысячу раз меньшей массой, чем другое.

Но куда деваются мелкие обломки? Два года назад астроном D. Rabinowitz, ныне работающий в Институте им. Карнеги (Вашингтон), пришел к выводу, что количество мелких астероидов, проходящих вблизи Земли, было учеными сильно преуменьшено. Теперь Jun Chen и D. Jewitt высказывают предположение, что некоторые из этих астероидов представляют собой обломки развалившихся комет.

Данная работа имеет еще одно немаловажное значение: кометы хранят в себе сведения о происхождении Солнечной системы. Но солнечное излучение

постепенно изменяет свойства их поверхности; если же астероидам удастся наблюдать «свежерасколовшуюся» комету, они могут получить важную информацию исходя из характера ее обнажившегося ядра. Чем чаще происходит такое разламывание, тем больше возможностей заглянуть в глубины времени, когда это небесное тело образовалось вместе со всей Солнечной системой.

New Scientist. 1994. V. 141. N 1916.  
P. 16 (Великобритания).

#### Ботаника

### Деревья помогают сейсмологу

Индийские дендрологи R. R. Yadav и A. Bhattacharya (Палеоботанический институт им. Бирбала Сахни, Лакхнау, штат Уттар-Прадеш) изучили годичные кольца 12 старых сосен, произрастающих в западной части Гималаев.

Отмечено, что у всех деревьев ширина колец резко меняется с момента, когда здесь, в холмах Уттаркаши, произошло мощное землетрясение магнитудой 6.2 по шкале Рихтера (октябрь 1991 г.).

До сих пор было хорошо известно, что характер годичных колец свидетельствует о степени засушливости или влажности в период их роста. Но оказывается, что и сейсмическое событие может отразиться на росте деревьев.

Исследователи установили, что в 1991—1992 гг. прирост сосновых стволов резко приостановился: кольцо 1992 г. по сравнению с предшествующими заметно уже; на кольцо же 1991 г. землетрясение отразилось в меньшей степени, так как оно пришлось на конец вегетационного периода этого года.

Можно предположить, что сильный подземный толчок серьезно нарушает корневую систему растения, дерево лишается значительной части необходимых питательных веществ и влаги, что и задерживает его рост.

New Scientist. 1994. V. 143. N 1941.  
P. 7 (Великобритания).

#### Иммунология. Медицина

### Средство против тромбов

При ангиопластике, которая применяется для оперативного лечения ишемической болезни сердца (при остром инфаркте миокарда, стенокардии, после аортокоронарного шунтирования), на сосудах в процессе операции возникают обширные повреждения их стенок. В результате в просвет сосуда попадает коллаген (белок, синтезируемый и секретируемый основными клетками соединительной ткани — фибробластами); к коллагену сразу же прилипают тромбоциты (кровяные пластинки), и начинается формирование пристеночный тромб.

Чтобы предотвратить образование подобного тромба, в кровь больному обычно вводят лекарственные средства, разжижающие кровь и расширяющие просветы сосудов.

Сотрудники Кардиологического научного центра РАМН (Москва) И. П. Степанова, М. В. Цыбульская и С. П. Домогатский предложили использовать для этой цели урокиназу, связанную с комбинированными антителами.

Антитела к урокиназе и коллагену авторы модифицировали таким образом, чтобы получились «гибридные» антитела одновременно к двум этим белкам. В системе *in vitro* плазму крови доноров, содержащую тромбоциты, помещали в специальные пластиковые микрокамеры и с помощью магнитных мешалок создавали в них такой же ток плазмы, какой характерен для артерий эластического типа. Кровяные пластинки в этих условиях не прилипали к стенкам камер. Когда же в камеры добавляли коллаген, наблюдалась адгезия тромбоцитов к стенкам камер, имитирующая процесс формирования тромба в сосуде. Количество прилипших к пластику тромбоцитов оценивали с помощью фазово-контрастного, а затем и сканирующего электронного микроскопа.

Оказалось, что если в систему добавить свободную урокиназу, то тромбоциты все равно

осаждаются на стенках. Но если ввести урокиназу, связанную с «гибридными» антителами, то стенки камер остаются чистыми, иначе говоря, искусственный тромб не образуется.

Таким образом, авторами показана возможность использования урокиназы в комплексе с «гибридными» антителами для профилактики тромбообразования. Но пока — только принципиальная.

Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1994. № 5.  
С. 504—507 (Россия).

#### Охрана окружающей среды

### Радиоактивные облака над американскими городами

Принято считать, что ядерная программа США была несравнимо более открытой для общественности своей страны, нежели аналогичная программа в СССР, особенно в той части, которая касается воздействия на окружающую среду и мирное население<sup>1</sup>. Однако в 1993 г. были частично раскрыты материалы, свидетельствующие, что в 40—50-е годы министерство обороны США в рамках программы по созданию ядерного вооружения провело ряд экспериментов, нацеленных на изучение характера распространения по территории США искусственно созданных радиоактивных облаков<sup>2</sup>.

Восемь таких испытаний, являвшихся составной частью проекта разработки оружия массового поражения вражеских войск путем рассеивания по поверхности поля боя радионуклидов, проводились в 1948—1952 гг. в штатах Теннесси и Юта.

В Лос-Аламосе (штат Нью-Мексико) было проведено четыре широкомащштабных эксперимента, в ходе которых в атмосфере взрывали «ненастоящие» атомные бомбы (в этих устройствах для создания радиоактивных выпадений обычная хи-

<sup>1</sup> Nenot J. C. // International J. of Radiation Biology. 1990. V. 57. P. 1073—1085.

<sup>2</sup> Kiernan V. // New Scientist. 1993. V. 140. N 1905/1906. P. 4.

мическая взрывчатка перемешивалась с радиоактивными материалами). В результате одного такого испытания радиоактивное облако, пройдя более 100 км, накрыло близлежащий городок. По словам представителей Лос-Аламосской национальной лаборатории, основным радиоактивным компонентом этих бомб был  $^{140}\text{La}$  (период полураспада — около 40 ч). В этих экспериментах делалась попытка получить представление о советской ядерной программе по анализу состава радиоактивных выпадений.

Подробности большинства этих испытаний пока еще неизвестны. Не названы ни изотопный состав, ни суммарная активность выброшенных в окружающую среду радионуклидов. Отсутствие сведений о метеорологической обстановке в дни проведения экспериментов не позволяет определить населенные пункты и экосистемы, подвергшиеся радиоактивному загрязнению. Известно лишь, что радиоактивность одних искусственных облаков составляла несколько десятков кюри, других — сотни тысяч.

Некоторое представление о масштабе подобных испытаний можно получить исходя из проведенной в 1949 г. операции «Зеленый пробег» («Green Run»), во время которой радиоактивное облако, выпущенное в районе Хэнфорда в штате Вашингтон, распространилось по всей территории этого штата и ушло в штат Орегон.

© А. Г. Викторев,  
кандидат биологических наук  
Москва

Охрана природы

## Зебра Грэви под угрозой

Около 200 г. до н. э. римский император Каракола вывел на арену Колизея полученную им в подарок «тигровую лошадь» (*hippotigris*). Сейчас этот экзотический вид непарнокопытных, обитающих в Восточной Африке, известен как зебра Грэви (*Equus grevyi*) и наряду с другим видом — горной зеброй

(*Equus zebra*), встречающейся в Южной Африке, занесен в Красную книгу Международного союза охраны природы и природных ресурсов.

Шкуры зебр очень высоко ценятся благодаря своей окраске и широко используются для изготовления дамских сумочек. Давно став объектом активной охоты, сегодня они оказались на грани исчезновения. В 60-х годах нашего века численность зебр Грэви составляла 15 тыс. голов, но с того времени сократилась до 5 тыс.

Зебры Грэви обитают в южной части Эфиопии и на севере Кении, где создан Национальный резерват Буффало-Спрингс. В 1976 г. в Кении были приняты законы по охране этого вида, однако от скотоводов стали поступать жалобы: в местах водопоев они вступают в контакт с домашним скотом, и в результате, как считают специалисты, кобылы присматривают за несколькими большим числом жеребят. Хорошо размножаясь в неволе, приручаются зебры Грэви плохо.

National Geographic. 1993. V. 184.  
N 6. P. 146 (США).

Геология

## 151-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Изучение высокоширотных областей океана стало в последние годы приоритетной целью Программы океанского бурения. Это объясняется тем, что приполярные области оказывают огромное влияние на глобальные климатические и океанологические процессы. Понимание динамики этих процессов в геологическом прошлом и причин, стоящих за ними, необходимо для создания моделей, позволяющих прогнозировать их эволюцию в будущем.

Проблемам эволюции Арктического бассейна и был посвящен 151-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн», который проходил с 24 июля по 24 сентября 1993 г. в арктической области Атлантического океана<sup>1</sup>.

Со-начальниками рейса были

А. Мьхре (Институт геологии Университета Осло, Норвегия) и J. Thiede (ГЕОМАР, Киль, Германия); представителем Программы глубоководного бурения на борту судна — J. Firth. Сопровождал буровое судно финский ледокол «Фенника».

Это был второй за всю историю глубоководного бурения в океанах рейс, ставивший целью изучение геологических, палеоокеанологических и палеоклиматических процессов в Арктическом бассейне. Первый рейс с такой целью проводился здесь 19 лет назад; тогда с судна «Гломар Челленджер» (38-й рейс) было пробурено 17 скважин в Норвежско-Гренландском бассейне.

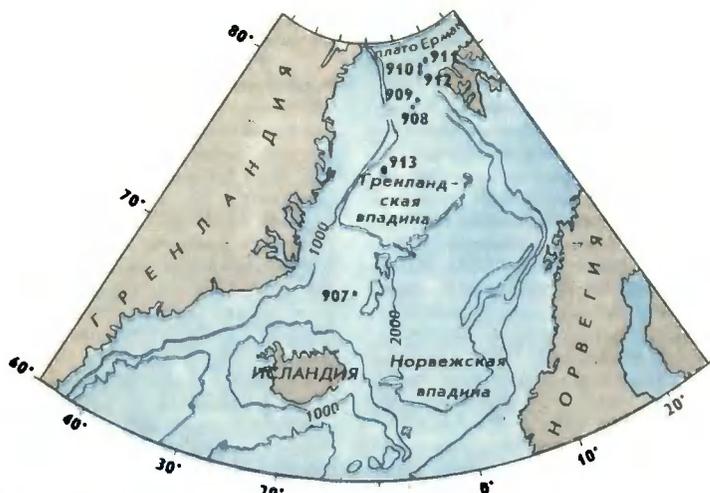
Перед участниками нынешнего рейса стояли задачи: реконструировать временные и пространственные вариации океанского бюджета тепла и химического состава воды; выяснить характер циркуляции в доледниковом и ледниковом океане и механизм климатических изменений в условиях океана, свободного ото льда; изучить вариации содержания биогенных компонентов ( $\text{CaCO}_3$ , биогенный кремнезем и органический углерод) в осадках, а на этой основе — колебания биопродуктивности в поверхностных водах; реконструировать колебания климата в прошлом и проследить их корреляцию с циклами Миланковича; установить время открытия пролива Фрама и влияние этого события на процесс накопления осадков. Кроме того, предполагалось пробурить породы фундамента для выяснения его природы и возраста, однако из-за тяжелой ледовой обстановки эта задача не была решена.

Всего в 151-м рейсе пробурено 18 скважин в семи точках (см. рисунок и таблицу). Пять из них, наиболее высокоширотные, расположены на плато Ермак и в проливе Фрама; две скважины — в Норвежско-Гренландском бассейне, в его северной и юго-западной частях.

Скважины вскрыли нео-

Firth J. et al. North Atlantic Arctic Gateways 1. Leg. 151 Preliminary Report. College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1993. P. 73.

<sup>1</sup> Мьхре А. М., Thiede J.,



Район бурения в 151-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн».

Номер скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина забоя, м
	с. ш.	з. д.		
907А	69°14.989'	12°41.894'	1801	224.1
908А	78°23.112'	01°21.637'	1274	344.6
908В	78°23.125'	01°21.644'	1273	83.4
909А	78°35.065'	03°04.378'	2519	92.5
909В	78°35.074'	03°04.380'	2519	135.1
909С	78°35.096'	03°04.222'	2518	1061.8
910А	80°15.876'	06°35.405'	556	28.7
910В	80°15.876'	06°35.451'	557	15.4
910С	80°15.896'	06°35.430'	556	507.4
910D	80°15.881'	06°35.424'	557	160.6
911А	80°28.466'	08°13.640'	902	505.8
911В	80°28.467'	08°13.636'	901	112.1
911С	80°28.485'	08°13.637'	902	127.9
912А	79°57.557'	05°27.360'	1037	145.4
912В	79°57.533'	05°27.397'	1037	40.5
912С	79°57.523'	05°27.363'	1037	209.1
913А	75°29.344'	06°56.830'	3319	103.6
913В	75°29.356'	06°56.810'	3319	770.3

ген-четвертичные, главным образом терригенные, отложения; две из них вошли в палеогеновые осадки эоценового (скв. 313) и позднеолигоценового (скв. 908) возраста.

Получены уникальные материалы, проливающие свет на геологическую, океанологическую и климатическую историю восточной Арктики и ее связи с Северной Атлантикой. Их предварительный анализ показал, что в среднем эоцене на месте пролива Фрама существовал ограниченный морской бассейн, который был лишен глубоководной связи с другими бассейнами; в нем без переме-

живания и биологической переработки накапливались терригенные осадки, обогащенные наземным органическим веществом при исключительно низком содержании биогенного кремнезема. Начиная с позднего эоцена биопродуктивность поверхностных вод заметно возросла; в разрезе это отражено в появлении интервалов с высокими концентрациями кремневых микроорганизмов (диатомей и радиолярий). В придонном слое, вероятно, сохранялся застойный режим с высоким содержанием в воде CO<sub>2</sub>, что приводило к растворению карбоната кальция. Подобные усло-

вия продолжали существовать вплоть до конца миоцена, когда аэрация бассейна, в том числе и его придонного слоя, значительно улучшилась. Произошло это либо благодаря возникновению глубоководной связи с Арктическим океаном, либо в результате того, что в самом бассейне началось формирование глубинной водной массы и появился резкий вертикальный температурный градиент. Плиоцен-четвертичное время характеризовалось здесь накоплением мощных разрезов терригенных осадков, формировавшихся, скорее всего, за счет разгрузки материала ледового разноса при таянии паковых льдов, граница которых располагалась в районе плато Эрмек. Рубеж миоцена и плиоцена отмечен появлением в разрезах всех скважин эрратических галек и валунов (от лат. erraticus — блуждающий, т. е. пород, не встречающихся в залегающей, принесенных из очень отдаленных мест); их количество резко возросло 2.5 млн. лет назад, что, вероятно, фиксирует время появления покровного оледенения в Северном полушарии.

© И. А. Басов,  
доктор  
геолого-минералогических наук  
Москва

Вулканология

**Бушуют грозные вулканы  
Индонезии**

Прошло около 110 лет с тех пор, как дотопе почти никому в мире не известный вулкан Кракатау, расположенный на одноименном острове в Зондском проливе, у берегов Явы, взорвался, породив гигантскую волну цунами и погубив десятки тысяч людей. 7 ноября 1992 г. вулкан пробудился. На этот раз извержение началось из кратера, находящегося на новом куполе, который получил название Анак («Дитя») Кракатау<sup>1</sup>. Всего за неделю поток лавы достиг северо-западного побережья

<sup>1</sup> «Дитя» Кракатау продолжает неистовствовать // Природа. 1993. № 10. С. 122.

острова и вступил в борьбу с океаном; только к февралю 1993 г. этот раскаленный язык перестал пополняться расплавленной породой. Зато появились новые огненные реки, одна из которых уничтожила автоматические сейсмические станции, установленные на юго-восточном склоне горы сотрудниками Университета Гаджа Мада (Джокьякарта, Индонезия). Другой лавовый поток к апрелю переполнил чашу старого кратера и, стремясь к морю, сжег все леса на северном склоне горы. Трехкилометровая полоса вдоль берега острова была объявлена запретной зоной.

Несмотря на все опасности, группа индонезийских ученых в мае 1993 г. совершила восхождение к вершине Анака Кракатау. За 8 часов их пребывания там не раз раздавались взрывы и сыпался обильный пепел. Особенно сильным был взрыв 13 июня: над вершиной на высоту до 600 м вздыблилась колонна дыма и пепла диаметром 150 м. Изверженные породы образовали новый вулканический конус высотой более 280 м над ур. м. — раньше максимальная высота острова достигала всего 199 м. Под градом каменных бомб 13 июня погиб один турист, а пятеро было ранено при попытке взойти на кромку старого кратера.

В апреле — мае 1993 г. новый сейсмометр, который удалось установить в 10 м от берега на высоте 15 м над ур. м., зарегистрировал четыре дня, в каждый из которых число вулканических взрывов превышало 1.5 тыс. Наблюдения за активностью Анака Кракатау ведут сотрудники Вулканонологической службы Индонезии (Бандунг).

Тревогу ученых и общественности Индонезии вызывает и поведение другого вулкана — Гамалама, образующего, по сути, весь островок Тернате. 21 мая 1993 г. здесь произошли один за другим 67 подземных толчков, после чего из кратера начали вылетать клубы пепла и раскаленные докрасна комья породы. Затем по склону спустилось огненное облако газов, смешанных со светящейся пылью. (Такое же облако было ответственно за полное уничтожение города Сен-Пьер и всех его жи-

телей на о. Мартиника в 1902 г., когда там начал извергаться вулкан Пеле; за несколько минут тогда погибло от 25 до 40 тыс. человек, выжил лишь один.) В связи с отсутствием жителей на о. Тернате все эти новые события жертв за собою не повлекли.

Гамалама считается одним из самых активных вулканов Индонезии: с 1538 г. насчитывалось более 65 его извержений.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N. 5. P. 2; N 7. P. 8 (США).

География.  
Космические исследования

### Загадка «полосатой пустыни»

Сотрудник отдела атмосферных исследований Управления по науке и технике Австралии (Мельбурн) Ф. Прафа проанализировал космические снимки юга страны, сделанные в течение 10 суток в октябре 1992 г. с борта искусственного спутника «ERS-1» (Europe Remote-Sensing Satellite — Европейский телеметрический спутник). На изображениях, охватывающих штат Западная Австралия, он обнаружил пять странных полос, пересекающих пустынную равнину Налларбор. Шириной по 15 км каждая, эти полосы протянулись примерно на 600 км с юга, от побережья Большого Австралийского залива на север, почти до предгорий хр. Мастрейв. К обработке изображений была привлечена группа сотрудников отдела горных работ и разведки полезных ископаемых того же управления, возглавляемая геологом I. Tapley.

Выступая с докладом на состоявшейся в Сиднее в сентябре 1994 г. конференции по дистанционному зондированию, австралийские исследователи признали, что исчерпывающего объяснения этого явления (которое с тех пор было обнаружено также и метеоспутниками Национального управления США по изучению океана и ат-

мосферы) они пока предложить не могут.

Равнина Налларбор (что в переводе с латыни означает «безлесная») считается слабопересеченной местностью, полностью лишенной растительности. Еще более странным представляется тот факт, что загадочные линии возникают на ней только в дневное время суток. Но обнаружены они были инфракрасными датчиками, которые наилучшие изображения обычно дают по ночам: инфракрасное (тепловое) излучение говорит о температуре объекта, а разница в нагретости, например, каменной и песчаной поверхностей достигает максимума именно ночью. В дневное же время подстилающая поверхность разогревается приблизительно равномерно, поэтому идентифицировать ее различные черты по температуре становится затруднительным. Необычные полосы на равнине Налларбор имеют температуру на 2 °С меньшую, чем окружающая их территория.

По мнению докладчиков, существование этих полос может быть связано с линиями разлома поверхности земной коры, сложенной здесь известняковыми породами. Однако до сих пор геофизикам и геологам как-либо разломы здесь не были известны. Не исключено, однако, что полосы обусловлены иными геологическими или гидрологическими чертами местности.

Среди метеорологов, также принимавших участие в обсуждении проблемы, возникло предположение, что полосы представляют собой следы прошедшего над равниной урагана. Однако он должен быть весьма сильным и длительным, чтобы суметь пройти по прямой около 600 км в глубь континента. Сопровождавшие такой ураган интенсивные осадки в виде дождя с градом могли, медленно просачиваясь в почву, привести к ее охлаждению, продержавшемуся в течение тех 10 суток, когда явление было открыто.

Изучение всех обстоятельств, сопровождавших возникновение странной «полосатости» пустыни Налларбор, продолжается.

New Scientist. 1994. V. 143. N 1941. P. 10 (Великобритания).

## Сейсмология

**Сейсмологический мониторинг со спутника**

Новый метод обработки данных радиолокационных съемок поверхности Земли в районах землетрясений — построение расчетных картин интерференции по двум радиолокационным изображениям, полученным со спутников в разные моменты времени, — расширяют информацию о поверхностных деформациях коры и их развитии во времени.

Даже в таком насыщенном геодезическими станциями регионе, как Калифорния, данных наземных наблюдений часто оказывается недостаточно для описания сейсмического процесса в целом. Так, в 1992—1993 гг. произошла серия землетрясений в Калифорнии у ее границы со штатом Невада; толчок в Лэндерсе (28 июня 1992 г.)<sup>1</sup> породил сложную систему разломов длиной 85 км, продольное смещение достигало 6 м. В последующий за этим толчком постсейсмический период произошло смещение до 6 см, но лишь на 15 станциях были зарегистрированы эти деформации; со станций не удалось зарегистрировать ответные сдвиги к западу от первичного разлома. В решении таких задач может помочь наблюдение со спутников; еще более важно оно для труднодоступных сейсмически опасных районов.

В предположении D. Massonnet<sup>2</sup> о методе определения

деформации строятся интерферограммы на основе двух разнесенных во времени изображений одной и той же местности, которые сняты со спутника методом радиолокации с синтезированной апертурой. В результате получается контурная карта изменения дальности, совпадающего в данном случае с изменением вектора смещения коры, точнее, составляющей этого вектора в направлении на спутник. О знаке изменения можно судить по последовательности цветов интерференционных полос. Сравнение с наземными измерениями показывает, что точность определения по интерферограмме указанной составляющей доходит до 4 см. Расчет интерферограммы требует лишь двух радиолокационных изображений, но при этом необходимо иметь также цифровую топографическую модель высот. Если такая модель для исследуемого района отсутствует, ее можно построить различными способами, например по двум изображениям поверхности в отсутствие деформаций.

Для уже упоминавшегося района Калифорнии ошибка в карте высот, по данным геологических служб США, составляет около 30 м. Ее влияние на формирование интерференционной карты зависит от соотношений орбит спутников, снимающих используемые изображения, — от так называемой высоты неопределенности. Этот параметр представляет собой ту ошибку в высотной топографии, для синтеза выбирают пары изображений, полученные при наибольших значениях высоты неопределенности (т. е. при благоприятных ориентациях орбит спутника). В калифорнийском эксперименте геометрия интерференции была такова, что полный цветовой цикл (одна интерференционная полоса) на ин-

терферограмме соответствовала 28-миллиметровому изменению расстояния между спутником и точкой отражения на Земле. Поэтому для орбит с высотой неопределенности в 220 м ошибка карты высот в 30 м могла дать погрешность интерферограммы порядка 4 мм.

Чтобы проследить развитие деформаций после толчков, для построения интерферограмм брались два различных типа пар изображений: пара изображений до и после землетрясения и пара изображений, снятых после толчка. Для землетрясения в Лэндерсе были получены интерферограммы, включающие дату толчка и охватывающие периоды в 40 дней и 14 месяцев (первый тип пары), а также периоды с 5-го по 180-й и с 40-го по 355-й день после толчка (второй тип). Их детальное сравнение помогло выделить особенности интерференционной картины, действительно связанные со смещением коры, от артефактов и проявлений атмосферных процессов, а также определить величины сдвигов вблизи известных разломов (сдвиги при этом считаются горизонтальными и параллельными линиями разлома) и установить временной период их образования. Ряд полученных таким образом результатов совпал с известными наземными данными (например, измерение сдвигов вблизи разлома Ленвуда), а другие дали новую информацию (так был обнаружен сдвиг в 19 мм у разлома Гарлока). Оказалось, что большая часть постсейсмической деформации происходит в течение первых 40 дней после толчка. Это подтверждает предположение об экспоненциальном затухании сейсмического процесса с постоянной времени 48 дней. Nature. 1994. V. 369. N 6477. P. 227—230 (Великобритания).

<sup>1</sup> Сейсмическая обстановка в Калифорнии осложнилась // Природа. 1993. № 6. С. 117—118.

<sup>2</sup> Massonnet D. Etude de Principe d'une Détection du Mouvements Tectoniques par Radar (Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, 1985); Gabriel A. K., Goldstein R. M., Zebker H. A. // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. P. 9183—9191.

## Трагические «секунды» в истории Земли

**Б. М. Миркин,**  
доктор биологических наук

**Л. Г. Наумова,**  
кандидат биологических наук  
Уфа

**Е**СЛИ ускорить историю нашей планеты в 5 млрд раз и представить себе, что она продолжается всего один год, то появление человека придется на 16.00 31 декабря, его занятия сельским хозяйством — на две последних минуты этого дня, а период научно-технической революции окажется равным всего лишь двум секундам. О последствиях этих поистине трагических «секунд» жизни Человека, гибель которому от разрушения собственной среды обитания предрекал еще великий Ж. Б. Ламарк, и рассказывает эта книга. Она продолжает серию блестящих изданий зарубежной научной литературы по экологии, которая появилась в 80-е годы<sup>1</sup>.

В это время наконец завершился период противопоставления «передовой социалистической» биогеоценологии «реакционной западной» экологии. Стало очевидно, что они занимают, вообще-то, одним и тем же, разве что экологи могли опереться на мощнейшее приборное обеспечение, а биогеоценологи — главным образом лишь на «передовую методологию», разработанную классиками диамата. Опубликованные книги помогли включиться в мировую науку даже тем, кто не имел возможности отправиться в престижные стажировки к зарубежным коллегам.

© Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Трагические «секунды» в истории Земли.

<sup>1</sup> Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М., 1980; Одум Ю. Экология. В 2-х т. М., 1986; Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Экология. Особи, популяції, сообщество. В 2-х т. М., 1989.



**Б. Небел. НАУКА ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ. КАК УСТРОЕН МИР.** М.: Мир, 1993. Т. 1. 420 с. Т. 2. 330 с.

Книга Б. Небела не повторяет ранее опубликованного, так как если цитированные издания были ориентированы на студентов-старшекурсников и специалистов, то этот труд, выдержавший подряд три издания в США, адресован студентам колледжей. Небел излагает материал очень популярно, но без ущерба для содержания, поражая своим умением свертывать громоздкие экологические концепции в краткие определения и понятные объяснения. Выход книги на русском языке как раз ко времени — в российской средней школе идет трудный процесс становления

экологического образования<sup>2</sup>. Не случайно, что первым откликнулся на эту книгу именно журнал «Биология в школе»<sup>3</sup>.

Книга разбита на 5 частей, 22 главы и множество разделов. В нее включены программы для проведения разнообразных практических занятий по экологии (дома, в лаборатории, во время экскурсий), краткий словарь терминов. Каждой главе предпослан план и заключение («Что Вы можете сделать, чтобы содействовать...»), а также небольшая статья-пример, специально написанная для книги или заимствованная из периодической литературы, с иллюстрацией одной из экологических реалий — нарушения состояния среды или, напротив, ее улучшения в результате принятия эффективных мер, опирающихся на экологические знания.

Части книги озаглавлены так: «Что такое экосистемы и как они функционируют», «Население», «Почва, вода и сельское хозяйство», «Загрязнение», «Вредители и борьба с ними», «Ресурсы: биота, энергия и земля». Издательство сочло целесообразным в качестве дополнения опубликовать во втором томе Закон РФ «Об охране окружающей природной среды».

Книга выдержана в оптимистическом ключе. Эпиграфом к ней можно взять приводи-

<sup>2</sup> Федеральный базовый компонент экологического образования (элементы временного стандарта) // Биология в школе. 1993. № 4. С. 40—45.

<sup>3</sup> Чернова Н. М. Наука об окружающей среде // Биология в школе. 1994. № 4. С. 77—78.

мую Небелом во «Введении» старую китайскую поговорку: «Если не получаешь желаемого — измени свои действия». Автор сравнивает планету Земля (вслед за Б. Фудером) с одиноким космическим кораблем в бесконечном путешествии, у которого нет базы, чтобы вернуться для ремонта, пополнить запасы и избавиться от отходов, в его распоряжении — только непрерывный поток солнечного излучения. И потому метод проб и ошибок — недозволенная роскошь для землян. Поняв, как работает этот «космический корабль», они должны подчинить свою деятельность задачам его сохранения.

В первой части Небел формулирует три основных принципа функционирования экосистем: получение ресурсов и избавление от отходов в экосистеме происходит в рамках кругооборота элементов; экосистемы существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой постоянно и избыточно; чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень.

Предельно четко разяснены факторы, определяющие размер популяции — ее биотический потенциал и сопротивление среды. При рассмотрении адаптации видов к абiotическим условиям и экосистемам Небел опирается, к сожалению, лишь на концепцию синтетической теории эволюции (СТЭ), что вряд ли оправданно. Сегодня становится все более очевидно, что только через СТЭ нельзя объяснить ни разнообразия видов, ни разнообразия экосистем.

Интересен подход к проблемам демографии. Небел показывает, что у развитых стран и стран «третьего мира» они разные: в первом случае — это контроль темпов нарастания народонаселения, а во втором — сохранение условий жизни (борьба с загрязнениями и перерасходом ресурсов). Он предлагает весьма емкую формулу:

«Принцип космического корабля» не позволяет рассматривать демографические проблемы бедных стран как локальные. Попытки государства со стабильным ростом населения и высоким уровнем жизни (сегодня 20 % населения используют 80 % добываемых человечеством материальных благ) отгородиться от демографически неблагоприятных районов планеты иммиграционными барьерами Небел остроумно сравнивает с поведением недалекновидных пассажиров тонущего корабля, которые продолжают веселиться на корме, в то время как нос уже ушел глубоко под воду...

Основным показателем демографической ситуации Небел считает синтетический коэффициент рождаемости (СКР), который рассчитывается как среднее число детей на одну женщину. В мировом масштабе СКР сегодня имеет высокое значение и составляет 3.6. В развитых странах он — около 2, зато в развивающихся африканских странах (Кения, Руанда и др.) превышает 8 (1). Сбить высокие значения СКР может только повышение уровня жизни и образование, что иллюстрирует опыт Мексики и Венесуэлы, где за последние годы СКР упал с 6—7 до 2—3. Эффективными оказались и экономические механизмы регулирования роста народонаселения в Китае (сегодня там СКР уже только 2.4). В этих странах, по существу, уже произошел «демографический переход» от стадии примитивной стабильности (высокая рождаемость и высокая смертность) через быстрый рост народонаселения (высокая рождаемость, низкая смертность) к устойчивой современной стабильности при низкой рождаемости и низкой детской смертности.

Горячий поборник международного экологического сотрудничества, Небел считает, что помощь богатых стран должна направляться не на распределение бесплатных продуктов (это подрывает и без

того слабое национальное сельское хозяйство и стимулирует повышение рождаемости), а именно на комплекс действий, связанных с регулированием роста народонаселения.

Вопросам загрязнения среды автор уделит почти 200 страниц. Шесть глав этой части дают последовательное и предельно полное описание названной сложнейшей проблемы, решение которой необходимо для построения общества «устойчивого развития». Описаны практически все варианты борьбы с газообразными, жидкими и твердыми отходами, которые апробированы в практике рационального природопользования США. Так же полно охарактеризовано состояние химического и биологического методов контроля над популяциями вредителей культурных растений.

Естественная биота — важнейший ресурс биосферы, и главный фактор ее разрушения — все тот же рост народонаселения. Новые рты требуют расширения площадей для сельского хозяйства и городского строительства, причем опустынивание части сельскохозяйственных земель в результате их примитивного использования заставляет сводить леса и занимать под посевы все новые и новые участки. Действие этого пресса усугубляется убывающим биоту загрязнением, разрушением экосистем под влиянием интродукции чужеродных видов, браконьерским уничтожением редких видов и т. д. («примером» к одной из глав служит рассказ, как рекордные цены на слоновую кость «гонят браконьеров за еще уцелевшими животными»).

Переход к модели общества «устойчивого развития» возможен при обеспечении энерго- и ресурсосбережения и использования отходов. Часть отходов неизбежно придется захоранивать, причем стоимость захоронения растет катастрофически. В США за восемь лет после 1980 г. захоронение 1 т отходов подорожало с 3 до 85 долл., что в конечном итоге стало стимулом для уменьшения отходов. В ряде случаев переработка отходов может давать высокую «добавочную» стои-

$$\text{Экологические последствия} = \frac{\text{численность населения} \times \text{стиль жизни}}{\text{уровень экологического сознания}}$$

мость» (которую, например, получили авторы технологии переработки автомобильных покрышек в термопласты).

Среди вариантов получения энергии из неисчерпаемых источников описан неизвестный российскому читателю «солнечный пруд» (тепловой элемент, где коллектором сбора тепла является соленая вода, открытая сверху слоем пресной), среди традиционных — когенерирование, т. е. размещение небольших электростанций непосредственно в зданиях.

Небел уклоняется от прогноза судьбы ядерной энергетики и считает, что сохранение ядерной энергетики и повышение ее роли в будущем — неизбежность. Это иллюстрирует опыт Японии и Франции, где этот вид энергетики развит наиболее высоко и обеспечена без-

опасность всего топливного цикла.

Закрывающая книгу глава подчинена идее, что необходимо остановить «расползание городов» за счет низкоэтажной застройки, которую ведет наиболее состоятельная часть общества. Сегодня города с разветвляющейся инфраструктурой уже напоминают метастазы раковой опухоли, которые поразили планету Земля. Эта опасность стала реальной и для России, где коттеджное строительство набирает все более высокие темпы. Под индивидуальные дома и усадьбы уходят миллионы гектаров плодородных земель. «Расползание» городов неизбежно ведет к усилению «автомобильной болезни» со всеми вытекающими последствиями, включая строительство все новых и новых

шоссеиных дорог.

В «Эпилоге» Небел пишет о четырех уровнях возможного личного участия граждан в улучшении экологической ситуации: 1) изменение собственного образа мыслей; 2) влияние на политику властей (письма конгрессменам и президенту фигурируют в большинстве разделов «Что Вы можете сделать лично...»); 3) сотрудничество с экологическим движением; 4) профессиональная природоохранная деятельность.

Экологизация образования в России усилит личное участие ее граждан в преодолении тех сложных экологических проблем, которые сложились в результате долголетнего бездумного природопользования. Книга Б. Небела еще сыграет свою роль.

## ОБЪЯВЛЕНИЯ

### КОНКУРС

Журнал "*Природа*" объявляет **открытый конкурс** на замещение должности редактора - заведующего отделом.

#### **Необходимы:**

физико-математическое образование, широкий круг научных интересов, склонность к литературной работе, активное знание английского.

**Предпочтение** будут иметь претенденты с научной степенью и публикациями в обзорных или научно-популярных журналах.

Для участия в конкурсе необходимо прислать в редакцию журнала

**до 1 марта 1995 г. следующие документы :**

*заявление, краткая научная биография, список публикаций, рецензия на одну или несколько статей из журнала "Природа" за 1994 г.*

# Тематический указатель журнала "Природа" 1994 года

## ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Астрономия и общество. Сурдин В.Г.	1	44
Вспоминая отца. Капица А.П.	4	180
Грозовые тучи над российской наукой. Сорокина К.Л.	12	103
Запрет на выезд профессора Капицы из России - потрясение для научного мира. Резерфорд Э. (перевод с английского Орезова Ю.Ф.)	4	118
Зарубежная помощь науке и высшей школе "Зачем вы подальше в науку, Фредерикс!" Сомен А.С., Френкель В.Я.	10	86
"Зачем нужна слава?.." (максимы Капицы) (вступ. слово Рубинова П.Е.)	4	80
"Интуитивные предвидения" Егора Ивановича Орлова (накануне и в первый год после Великой Октябрьской) (публикация и вступ. слово Балло А.В.; комментарий Мочалова И.И.)	2	92
"Как Сирано де Бержерак, он мог гордиться белым султаном своего боевого шлема..." (К 100-летию со дня рождения Л.А.Энгельберга). Киселев Л.Л., Абелин Г.И., Киселев Ф.Л.	6	66
Капица в Кембридже. Шенберг Д. (перевод с английского Орезова Ю.Ф.)	4	106
Капица выиграл. Халатинов И.М.	4	92

## ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1993 ГОДА

По физике - Р.Халпе и Дж.Тейлор. Браггинский В.Б.	1	103
По химии - М.Смит и К.Муллис. Берли Ю.А., Белюнова Л.П.	1	104
По физиологии и медицине - Р.Робертс и Ф.Шарп.	1	110
Лондон, апрель: конференция по ядерному топливу. Балло А.В.	7	13
Меморандум о памятниках старины Владимирской области. Капица П.Л.	4	190
Наука в бюджете США*	12	23
Научный институт - нераздельный организм. Капица П.Л.	4	146
На Шпицбергене найдены остатки экспедиции Уэльмана*	10	124
Недавнее прошлое громадной науки в громадной стране. Грэхэм Л.Р.(перевод с английского Иванова К.В.)	8	102
Несыгранный Гамлет. Борцаговской А.	4	170
Не только театр. Любимов Ю.П.	4	160
Никологорские знамя. Маршак М.И.	4	177
Остров здравого смысла. Боровик-Романов А.С.	4	138

О тех, "которых ожидает отечество от недр своих", или О Московском физтехе. Карлов Н.В.	4	148
Открытие Мондовской лабораторин. Капица П.Л.	4	114
Письмо Сталину. Капица П.Л.	4	156
"Пустыни бы меня на волю..." (письма П.Л.Капицы В.М.Молотову и Э.Резерфорду)	4	120
"Пусть простит меня академик Капица". Хрущев Н.С.	4	126
Размышления естествоиспытателя. Хаев В.Е.	1	60
Речь на митинге представителей еврейского народа. Капица П.Л.	4	169

## РОЖДЕНИЕ НЕБЕСНОЙ КАРТЫ

Небо поделено на созвездия в каменном веке. Гурштейн А.А.	9	60
Картина неба, скрытая зеленым. Кызласов И.Л.	9	72
Звездное небо как явление культуры. Ревеской Д.С.	9	76
Русское математическое зарубежье (первая волна). Ермолова Н.С.	11	80
Слово о Капице. Андреев А.Ф.	4	4
"...СО ЗНАНЬЕМ НЕСКАЗАННЫХ ОЧЕРТАНИЙ, КАК С ФАКЕЛОМ, ПРОЙТИ" (К 100-летию со дня рождения В.А.Энгельгардта)	12	24

Феномен Энгельгардта. Киселев Л.Л.	12	25
Жизнь и наука. Энгельгардт В.А.	12	26
Иерархии и взаимодействие в биологических системах. Энгельгардт В.А.	12	36
Спустя 10 лет... Венкстери Т.В.	12	44
Наш "дед". Твердохлебов Е.И.	12	50
Подарок судьбы. Сухарева Б.С.	12	53
Несколько штрихов к портрету. Тульнев С.Г.	12	56
Современники об Энгельгардте	12	62
Теория актора-катализатора по-прежнему актуальна. Кафизин-Эрнстани К.А.	12	66
Судьба фундаментальной науки в России. Бязов А.Л.	6	3
Тост Михозлса. Потоцкая-Михозлс А.	4	167
Тридцать два года спустя. Капица П.Л.	4	130
Три письма в один день (Капица А.А., Резерфорд Э.) (перевод с английского Рубинова П.Е., Орезова Ю.Ф.)	4	122
Унесенные бурей. Воронцов Н.И.	11	78
Физика как она есть. Смилга В.П.	4	158
Философская подоплека советского атомного проекта. Горелож Г.Е.	7	68
Хроника: 1894-1984 (основные даты жизни и деятельности П.Л.Капицы) (составил Рубинов П.Е.)	4	8
Цитолог Григорий Иосифович Роскин. Калининкова В.Д.	8	62
Чем заняты английские ученые?*	3	118
Что американец знает о науке?*	12	23

\* Опубликовано в разделе "Новости науки"

## АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Андромеда нам не "близнец"?*	9	119
Астероид был намного крупнее*	6	86
Астероиды "проскакивают" мимо*	8	112
Безработные астронавты*	8	112
"Веснушки" на Сатурне*	3	47
Вселенная становится "моложе"?*	12	109
"Вторжение" в Млечный путь?*	1	112
Где кончается Солнечная система?*	3	115

### ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА

Открытие микролинзирования в гало нашей Галактики. <b>Самонин М.В.</b> Микролинзирование: статистический подход. <b>Бялко А.В.</b>	11	17
Есть ли вода на Ио?*	11	116
Зависимость физических констант от времени*	3	114
Загадка R 136 решена? <b>Сурдин В.Г.</b>	1	113
Заготовка для гигантского зеркала телескопа*	1	114
Запуски космических аппаратов в России: сентябрь - октябрь 1993 г.* <b>Никитин С.А.</b>	2	111
Запуски космических аппаратов в Российской Федерации*. <b>Никитин С.А.</b>		
ноябрь - декабрь 1993 г.	5	83
январь - февраль 1994 г.	6	85
март - апрель 1994 г.	12	109

### ЗЕМЛЯ И ЛУНА (вступ. слово **Бялко А.В.**)

История представлений о происхождении Луны. <b>Козенко А.В.</b>	3	4
Происхождение Луны и других спутников планет Солнечной системы. <b>Маракушев А.А.</b>	3	12
Избыток астероидов вблизи системы Земля - Луна. <b>Шипов С.Я.</b>	3	27
Образование Луны. Теория гигантского столкновения. <b>Камерон А.Г.У.</b> (перевод с английского <b>Бялко А.В.</b> )	3	31
Великое столкновение: геофизические следствия. <b>Бялко А.В.</b>	3	39
И все-таки не планеты!*	3	116
Измерить температуру солнечного ядра*	5	83
Изучается астероид Ида*	10	112
Истощение озоносферы: архивные и космические свидетельства*	11	112
Как отклонить астероид?*	3	116
Как столкнется комета с Юпитером? <b>Бережной А.</b>	5	83
"Каннибал" живет по соседству*	6	85
"Клементина" направляется к Географу*	7	107
Комета нашлась... в библиотеке*	11	113
Космический телескоп нуждается в ремонте*	1	115
Магнитосфера Земли - новые данные*	2	112
Миллион орбитальных данных*	7	107
Моделирование распада кометы вблизи Юпитера*	12	90
На встречу с Эросом*	8	112
На "дынной" поверхности Тритона*	1	115
Невидимая масса вокруг гигантской эллиптической галактики*. <b>Сурдин В.Г.</b>	10	110
Необычный взрыв сверхновой*	10	111
Новое кольцо Юпитера*	5	85
Новый метод изучения озоносферы*	2	112
Образование вихрей в атмосфере Юпитера при падении фрагментов кометы*	12	91

Открыто четыре новых спутника*	3	115
Откуда приходят кометы?*	1	102
Освоение космоса: качество на смену количеству*	7	107
Падение астероидов на Солнце* <b>А.Б.</b>	12	93
Парные астероиды - не редкость*	1	114
Пикскилл - самый информативный метеорит*	5	84
Поиск жизни во Вселенной продолжится*	8	112
Полеты по программе "Слейс шаттл": январь - июнь 1993 г.* <b>Никитин С.А.</b>	3	111
Полярный лед рядом с Солнцем?*	11	114
Почему Земля не замерзла в архее?*	9	40
Почему Луна яркая?*	8	113
Происхождение кратерных цепочек на Луне*	12	91
Пыль на орбите Земли и асимметрия зодиакального света*	9	42
Радиоуглеродный хронометр. <b>Дергачев В.А.</b>	1	3
Самое яркое и массивное шаровое скопление нашей Галактики*	11	113
Сближения Солнца с соседними звездами*. <b>Сурдин В.Г.</b>	11	112
Светоиндуцированная диффузия и ее астрофизические следствия*	1	116
Странности звезды HD 98 800*	10	112
Часто ли крошатся кометы?*	12	110
Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна. <b>Тори К.С.</b> (перевод с английского <b>Городецкого М.Л.</b> , вступ. слово <b>Брагинского В.Б.</b> )	1	90
	2	78
	5	75
	7	92
	8	86
	10	96
	11	87

Что ожидает Солнце и Землю?*	9	41
Электрические поля нейтронных звезд. <b>Цыган А.И.</b>	8	82
Этот астероид не виноват*	3	117

### ЮПИТЕР И КОМЕТА

Падение кометы: что мы увидим? <b>Клумов Б.А., Кондауров В.И., Комохов А.В., Медведев Ю.Д., Соколовский А.Г., Уполюхов С.В., Фортос В.Е.</b>	6	54
"Ждем-с". <b>Бялко А.В.</b>	6	57
Комета упала. Первые впечатления с мест наблюдений. <b>Смлюжн Б.И.</b>	12	83

### ФИЗИКА. ТЕХНИКА

Высокотемпературная сверхпроводимость. <b>Глишбург В.Л.</b>	6	6
Жидкости испаряются брызгами*	3	117
Звук управляет плазмой. <b>Галечкин Г.А.</b>	3	65
Изменение свободной энергии изолированного сверхпроводника*	2	112
Измерение силы Казимира-Полдера*	1	117
Исследование антиматерии - реальность и перспективы. <b>Далькверов О.Д., Воронин А.Ю.</b>	12	3
"Кислородная эпопея". <b>Бродянский В.М.</b>	4	32
Магнитная "память" дислокаций*	6	87
Микроскопическое наблюдение поверхности миграции вакансий*	1	118
Молекулярная структура воды вблизи критической температуры*	6	87

Наблюдение атомов, состоящих из пионов*	2	90	ГЕЛИОБИОЛОГИЯ: ОТ ЧИЖЕВСКОГО ДО НАШИХ ДНЕЙ		
На пути к сильным магнитным полям. Дате М. (перевод с английского Орехова Ю.Ф.)	4	22	Новое знание сквозь барьеры предыдущего. Шноль С.Э.	9	3
На физическом горизонте - шестой кварк	9	51	Солнечная активность и биосфера - междисциплинарная проблема. Владимирский Б.М.	9	10
Новые прецизионные измерения массы антипротона	12	11	Биологическая эффективность электромагнитного поля. Темурьянц Н.А.	9	14
Новый шаг к управляемому термоядерному синтезу. Арутюнян И.Н.	9	78	Аномалии в поведении насекомых и геомагнитные бури. Чернышев В.Б.	9	20
Первые данные с ускорителя "Гера". Баранов С.П.	3	88	Вторжения азиатских кочевников и солнечные циклы. Гончаров Г.А.	9	25
Песочные часы тоже "тикают"*	7	108	Гены древних "заговорили". Столповский Ю.А., Удина И.Г.	5	44
Плазменные неустойчивости и космические аппараты. Ольховатов А.Ю.	8	48	ДНК в янтаре	2	115
Поиск сверхтяжелого водорода в морской воде*	8	114	Естественная консервация дерева. Кудряцева Е.И., Литвищева А.П., Соколова Г.А.	11	52
Померои. Ландсхоф П. (перевод с английского Эфремова А.В.)	2	17	Еще раз о карликовых самцах пауков*. Михайлов К.Г.	3	120
По обе стороны абсолютного нуля. Лоунасмаа О.В. (перевод с английского Фомина И.А.)	4	70	За "пленкой маловидения". Ключников С.Н.	10	76
Проблема ожигания гелия. Агапов Н.И.	4	42	Имеет ли лидер больше детей?*	8	114
Ретроспективная инструментальная дозиметрия. Бриж А.Б., Радчун В.В.	2	3	Как птицы "настраивают" свой "компас"*	3	120
Сверхжидкости. Пикет Дж. (перевод с английского Балло А.В.)	4	47	Кто завез песчаную ракушку в Европу? Несис К.Н.	5	64
Сверхтекучесть и квантованные вихри в аннизотропном <sup>3</sup> He-A. Воловик Г.Е., Крусиус М.	4	56	Маленькие хитрости гусениц*	1	121
Спиновые стекла: новая термодинамика. Дорофеев Е.А., Доценко В.С.	12	12	Морские суда как "транспортный конвейер" для чужеродных организмов-вселенцев. Несис К.Н.	7	90
Строится детектор гравитационных волн*	5	86	Новая управа на саранчу*	11	118
Фотолюминесценция кремния в видимом диапазоне*. Гридун А.И.	1	117	Отчего похудели осетры?*	10	119
"Электрод": игра стоит свеч. Барашенков В.С.	7	3	Поведение и образ жизни серого варана в песчаной пустыне. Целларису А.Ю.	5	26
Эти славные дни прошлого. Аксфорд У.И. (вступ. слово и перевод с английского Браус Т.К.)	9	100	Полиплодия у дождевых червей. Викторов А.Г.	3	108
Эффект, подтвержденный через 40 лет. Фейнберг Е.Л.	11	30	Гриродная и экспериментальная гибридизация животных. Терновской Д.В., Терновская Ю.Г.	3	80
ЭНЕРГЕТИКА			Радиоактивный йод и "чернобыльская болезнь". Карасев Б.В.	3	78
Мировой рекорд энергетики Литвы*	1	119	Регенерация у голотурий*	8	114
Чернобыльский "Саркофаг". Боровой А.А.	11	62	Структура клеток печени животных-вегетарианцев*	7	109
МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА			Уловка и контроловка: коэволюция общественного паука и паразитической мухи*. Михайлов К.Г.	5	88
Американская медаль науки - М. Крускалу. Андрианов И.В.	11	110	Черви, которые любят жить на горячей сковороде. Несис К.Н.	8	100
Интеллектуальные системы: освоение новых методов. Мешалкин Л.Д., Гольдберг С.И.	10	66	Эволюция полета насекомых. Гродницкий Д.Л.	8	27
ХИМИЯ			Ящерица распространяет семена кактуса*	2	115
Новый синтетический цеолит*	5	86	БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ		
Первые нитридные стекла*. Балло В.А.	11	117	Деревья помогают сейсмологу*	12	111
Рекордсмены среди сверхпроводников. Антипов Е.В., Путилин С.И.	10	3	Зачем паук передвигает свою сеть? Михайлов К.Г.	5	89
БИОЛОГИЯ			Открыт новый примат*	8	116
Аномалия опросов сексуального поведения*	1	119	Открыто млекопитающее!*	3	121
В компьютере - вся фауна и флора планеты*	6	89	Паучок - "новичок"*	7	110
			"ПОДУШКИ" ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ		
			Активная, а не пассивная жизненная форма. Хохлаков А.П.	6	36
			Подушковидные растения Средней Азии. Попов К.П., Сейфуллин Э.М.	6	42
			Предсказывает куколка. Каабак Л.В.	7	51

Скифский сладкий корень. <b>Гладышев А.И.</b>	8	21
Существуют ли "семейные" микробы?*	6	90

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА

Горячие частицы. <b>Василенко И.Я.</b>	10	25
Ендимины - новые противоопухолевые вещества*	5	86
Механизм взаимодействия единичных молекул миозина*	12	49
Механизм деления злокачественных клеток*	10	120
Можно ли не стареть? <b>Мазин А.Л.</b>	11	3
Нейромеднаторы в растениях (публикация <b>Астаховой О.О.</b> по материалам <b>Рощиной В.В.</b> )	2	41
О природе шизофрении*	10	120
Пептидный "мотив", узнающий А—Т-фрагменты в ДНК*	8	115
Перспективы лечения паркинсонизма*	3	118
Прибор для изучения канцерогенеза*	7	110
Природные инсектициды*	2	113
Путь молнии в живом теле*	11	117
Роль радионуклида калия в жизни растений*	7	110
Ультрафиолет стимулирует макрофаги*	6	88

## ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ

Карбид кремния в генной инженерии*	6	89
О чем расскажут собачьи гены?*	6	89
Получение таксина*	3	118
Порожденные генной инженерией. <b>Вельков В.В.</b>	10	17

## ФИЗИОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА

Борьба с артрозом*	8	116
Вакцинация против туберкулеза*	1	81
ВИЧ против матери и ребенка*	5	88
Для чего ящерицам третий глаз?*	5	88
Желтая лихорадка в Кении*	1	121
Инфекции грозят захлестнуть мир*	10	121
Как сохранить вакцину*	2	114
Кастраты живут дольше?*	11	119
К лечению диабета*	3	119
Куда девать лишнюю паутину? <b>Михайлов К.Г.</b>	7	112
Курение и рак мочевого пузыря*	6	90
Лечение эпилепсии*	2	114
Можно ли вылечить рассеянный склероз?*	5	87
Новый способ лечения переломов*	6	90
Облучение и деление клеток*	11	118
ОРЗ - это серьезно*	3	119
Пересадка печени обезьяны человеку*	1	120
Пересадка спинного мозга у крыс*	7	112
Подбор лекарств при лечении туберкулеза*	2	113
Рецептор против паразита*	8	115
Рибосомы бактерий против бронхита*	10	121
Средство против тромбов*	12	111
Туберкулез - хроническая инфекция и социальная болезнь. <b>Несветов А.М.</b>	2	12
Управляемые синапсы. <b>Бызов А.Л.</b>	1	71
Холера в мире*	7	110

Экспериментальная хирургия сердца*	7	111
Эпидемия дифтерии*	3	119
Эпидемия лейшманиоза в южном Судане*	1	120
Эпидемия неврита зрительного нерва на Кубе*	2	114

## ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ

Амударьинские тугаи: охрана и использование. <b>Гладышев А.И., Новикова Н.М.</b>	3	54
--	---	----

## БАЛАНС УГЛЕРОДА В РОССИИ

Цикл углерода в природных экосистемах России. <b>Захарзин Г.А.</b>	7	15
Углерод в лесных экосистемах. <b>Исаев А.С.</b>	7	18
Углеродный баланс тундровой и лесотундровой зон. <b>Замолодчиков Д.Г.</b>	7	22
Фотосинтез и изменение содержания CO <sub>2</sub> в атмосфере. <b>Мокроносов А.Т.</b>	7	25
Модель глобального цикла углерода. <b>Тарко А.М.</b>	7	27
Трансформация органического вещества в гумусе. <b>Орлов Д.С.</b>	7	32
Выделение углекислого газа почвенным покровом России. <b>Кудряков В.Н.</b>	7	37
Биосферное значение болот в углеродном цикле. <b>Вомперский С.Э.</b>	7	44
Бегемот или титановая руда?*	1	56
Беркут. <b>Ивановской В.В.</b>	2	34
Борьба вокруг плотины*	10	118
В Австралии взят под охрану район палеонтологических раскопок	1	57
Великий канал против великих болот*	9	119
Вокруг экологии Волжского бассейна. <b>Зубрева М.Ю.</b>	1	37
Восстановление великих болот*	2	116
Восстановление фауны после крысиного нашествия*	6	91
Выживет ли бразильская дикая лошади?*	6	53
В ядерных бункерах - летучие мыши*	5	92
Где природа богаче?*	12	96
Гераневая бронзовка угрожает*	2	116
Дороги для соня*	7	113
Дунай - жертва войны*	10	24
Жуки красотелы. <b>Сыгидя С.И.</b>	12	81
Закон об энергетике США охраняет природу*	10	31
Заоблачный лес в опасности*	10	63
Зебра Грэви под угрозой*	12	112
Искусственные рифы из списываемых танков*	12	96
Истощение рыбных ресурсов и рыбоводство*	5	90
Кислотное загрязнение атмосферы в США сокращается*	9	36
Кондор остался всего пять*	2	115
Коралловые рифы: изучить, чтобы спасти*	7	113
Лошадь Пржевальского: долгий путь домой*	5	92
Медведь-беженец*	12	96
Метод быстрой оценки биологического разнообразия*	11	120
Микробиологические процессы сероводородного заражения водоемов. <b>Пименов Н.В., Савичев А.С., Оленюков А.Ю., Барт М.Е.</b>	8	44
Микрочипы против браконьеров*	10	63
Монахи дружат с летучими мышами*	3	122
Морские гиганты выживают?*	1	122

Морской заповедник Монтерей-Бей*	6	91
Начнем с малого. <b>Смильгин В.А.</b>	1	54
Нутрии опустошают побережье*	3	123
Озерный дельфин должен быть спасен*	11	119
Опасность употребления загрязненной рыбы занижена*	6	53
Операция "радиофицированный носорог". Органические соединения в реках Москвы. <b>Вирин Л.М., Суворов Б.А., Торжак В.П., Хейфец Л.И.</b>	1	121
Оскудение рыбных богатств в Черном море. <b>Расс Т.С.</b>	3	86
Остров-заповедник*	5	66
Остров Марлон избавился от кошек*	8	116
Охрана природы по-австралийски*	5	91
Очистка морских и пресных вод*	11	119
Парки и университеты вместо казарм и полигонов*	2	116
Радиоактивные облака над американскими городами. <b>Викторов А.Г.*</b>	2	55
Рогатый скарабей. <b>Волошик С.В.</b>	12	111
Рыбоводство: настоящее и будущее*	9	90
Северные песа: динамика биомассы*	3	90
Спутник поможет виноградарю*	9	34
Стерилизация оленей*	1	122
Судьба калифорнийской пумы*	7	112
Устойчивые агросистемы: мента или реальность? <b>Миркин Б.М.</b>	6	91
Феб. <b>Татарнов А.Г.</b>	10	52
Хребет Каракурм - район Мирового наследия*	11	60
Экологическая ситуация в Персидском заливе*	1	56
Эпидемия среди дельфинов*	1	57
Эффективность рынка и окружающая среда*	10	63
	6	53

## ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА

Бурый алмаз рассказывает о земных недрах*	5	92
Включения в гранитах. <b>Лучицкая М.В.</b>	8	56
Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода*. <b>Алексеев М.Н.</b>	8	117
Геологические феномены России. <b>Кац Я.Г., Козлов В.В., Ушаков С.А.</b>	11	34
Грязевые вулканы, глиняные диапирсы: новые геологические открытия в Черном и Средиземном морях. <b>Лимонов А.Ф., Иванов М.К.</b>	2	63
"Живой" фундамент*. <b>Леонов М.Г.</b>	1	124
Кольцевые космогенные структуры. <b>Зейлик Б.С., Зозулин А.В.</b>	2	26
Мезозойские рифты и нефтегазоносность*. <b>Кириллова Г.Л.</b>	1	124
Модели образования океанической коры. <b>Дозорова К.А.</b>	8	120
На выставке - геологические миниатюрные карты*. <b>Кац Я.Г., Козлов В.В.</b>	11	120
Происхождение изумруда. <b>Одичова Е.А.</b>	6	45
Происхождение перикоеанических бассейнов*. <b>Лучицкая М.В.</b>	10	113
Радар выявляет карстовые пустоты*	6	92
Разлом Романш - геодинамически неустойчивая система*. <b>Пейве А.А.</b>	1	125
Рудные капли в земной коре и мантии. <b>Вахрушев В.А., Рабов В.В.</b>	9	52
148-й рейс "ДЖОЙДЕС Резолюшн". <b>Басов И.А.</b>	1	122
149-й рейс "ДЖОЙДЕС Резолюшн". <b>Басов И.А.</b>	3	123
150-й рейс "ДЖОЙДЕС Резолюшн". <b>Басов И.А.</b>	8	118

151-й рейс "ДЖОЙДЕС Резолюшн". <b>Басов И.А.</b>	12	112
--	----	-----

ТЕКТОНИКА ПЛИТ В "АКСАКОВСКИХ ЗОПРЯХ" (вступ. слово **Ханин В.Е.**)

Взгляд в геологическое прошлое Евразийского континента. <b>Казьмин В.Г., Наталов Л.М.</b>	6	16
Гидротермальные руды океанского дна. <b>Мурашев К.Г.</b>	6	19
Нефтегазоносность глубоководных котловин Мирового океана. <b>Левин Л.Э.</b>	6	24
Новая модель геологического строения Крыма. <b>Юдин В.В.</b>	6	28
"Одна, но пламенная страсть". <b>Городищевой А.М.</b>	6	31
Четвертичная тектоника*. <b>Трифонов В.Г.</b>	8	117
Экзотические гальки Керченского полуострова. <b>Клюшин А.А., Макаров Н.Н.</b>	11	48
Эти черные - нечерные сланцы. <b>Юдович Я.Э.</b>	1	16
"Юбилей" вулкана Килауза. <b>Силкин Б.И.</b>	8	75

## ГЕОХИМИЯ. ГЕОФИЗИКА

Акустический "термометр" для атмосферы*	8	113
Анизотропная структура земного ядра*	6	88
Вулканический хлор не виноват*	1	116
Интенсивность геомагнитного поля за последние 4 млн. лет*	9	40
Как искать "слепые" месторождения. <b>Сиворцов В.А.</b>	2	56
Коралловые рифы больше отдадут CO <sub>2</sub> , чем поглощают?*	5	93
Кристалл в центре Земли?*	7	109
Мантийная струя отклоняется от своего глубинного источника*	7	113
Мировой центр данных по парниковым газам*	6	86
Моделирование блоковой структуры земной коры. <b>Пономарев В.С., Ромашов А.Н.</b>	5	54
Молния как "градусник" Земли*	6	86
Озонометрическая статистика требует теоретического осмысления*	5	85
Открыто новое атмосферное явление*	11	116
Рекордное число молний*	7	108
Самолет-лаборатория для исследования облачности*	9	38
Самолетные выхлопы в верхней тропосфере*	9	36
Цунами Черного и Азовского морей. <b>Никонов А.А.</b>	3	72

СЕЙСМОЛОГИЯ.  
ВУЛКАНОЛОГИЯ

Безымянный вновь заговорил*	5	94
Бушют грозные вулканы Индонезии*	12	113
Вулкан Вениаминова пробудился вновь*	11	121
Вулкан Галерас вышел из себя*	1	127
Вулкан Килауза "съезжает" в море*	6	92
Жизнь на вулкане Баррен возрождается очень медленно*	10	116
Землетрясение угрожает атомному центру Франции*	11	122
Землетрясения подчиняются цикличности*	10	115

Извергается вулкан Поас*	7	115
Коварство вулкана Галерас*	7	114
Крупнейший из городов - под постоянной вулканологией*	7	115
На Гауау Пичинча погибли вулканологи*	6	92
Национальная катастрофа в Индонезии*. Дозорова К.А.	7	116
Пинатубо все еще опасен*	2	117
Плита Наска погружается*	3	125
Почти непрерывное извержение Сакурадзимы*	2	117
Сейсмическая активность на Земле всего за один месяц*	2	117
Спутник следит за вулканом*	10	116
Сусамырское землетрясение: тектоническая обусловленность и поверхностные нарушения*	8	79
Цунами в Японском море*	2	117
Чего можно ждать от великана*	11	122
Швейцарцы восходят на вулкан в Иране*	7	115

## ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ

Бухажные "мостовые" на больших реках. Лодина Р.В., Чалов Р.С.	7	57
Высокая чувствительность атмосферы*	9	35
Геологический след метеорологического явления*	5	94
Дальний путь до Лены-реки. Свердлов Л.М.	2	68
Загадка "полосатой пустыни"*	12	114
Здоровье Валдая. Зубрева М.Ю.	12	71
Искусство древних гидротехников в пустыне. Альбеков Л.А.	9	93
Как образовались "гигантские ледяные жилы". Колпаков В.В.	12	97
Как прокормить мир?*	10	118
Каменные стоки рек*	8	123
Климат Западной Сибири в XXI веке*	9	33

## КОЛЕБАНИЯ КАСПИЯ: ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ

Предсказуем ли уровень моря? Найденов В.И., Кожевицкая И.А.	5	4
"Слуга" моря. Федкин В.П.	5	13
Дельта Волги. Санточ А.А.	5	18
Кризис идей управления климатом*	9	37
Многослойная климатическая модель*	9	33
Модель развития горного водосборного бассейна. Трифонова Т.А.	2	106
Наводнение на Миссисипи*	10	117
На дне океана - свидетельства внезапных изменений климата*	3	126
Необычная песчаная буря в Китае*	7	118
Ночи теплеют сильнее, чем дни*	9	34
Оптические свойства облаков влияют на климат*	9	37
Останцы растаявшей Арктиды. Томирдноро С.В.	3	98
Пезским волоком к Пустозерску. Окладников Н.А.	6	60
Последнее оледенение Земли в позднем плейстоцене. Величко А.А., Кононов Ю.М., Фаустова М.А.	7	63
Почему прогноз не сработал*	6	93
Путешествие в древнюю Камбоджу. Чичагов В.П.	9	80
Российская гляциология: "не процветает, но и не теряет значения" (интервью с В.М.Котляковым)	10	44

Смешанный Центральной Азии. Рудой А.Н.	8	3
Солнце - Земля: клубок гипотез. Бялко А.В.	9	43
"Тепловые острова" и растительность в городе*	2	119
Ультрафиолетовая радиация - в прогнозе погоды*	2	120
Уроки урагана "Полли" в Китае*	10	116
"Факельный" метод очистки и опреснения воды. Сосновский А.В., Гохман В.В.	3	93
Экологическая карта Московской области*. Снытко В.А.	2	120

## ОКЕАНОЛОГИЯ

Автономный измеритель глубинных течений*. Виноградов В.Н.	2	119
Азорские гидротермальные поля*	2	118
Альтиметрические исследования с океанографического спутника*	5	93
Взвеси и течения в Карском море. Мужикин С.И.	8	80
"Водные крылья" повысят продуктивность маррикултур*	10	115
Извержение на подводном хребте Хуан-де-Фука*	11	121
Исследования глобальной динамики океанских экосистем*. Виноградов В.Н.	3	125
Морской планктон выделяет сернистый газ*	9	37
Необычное развитие феномена Эль-Ниньо*	9	39
Плавательный бассейн для океанологов и метеорологов*	10	114
Подъем уровня Мирового океана - новые оценки*	9	39
Растет уровень акустического загрязнения океана*	10	114
Скорости перемешивания океана*	9	38
Стихии сражаются на морском дне*	8	121
Экспедиция в Карское море. Лисицын А.П., Виноградов М.Е.	10	32

## ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ. ПАЛЕОАНТРОПОЛОГИЯ

Багамы свидетельствуют о колебаниях уровня океана*	9	31
Важная антропологическая находка*	3	127
Голос динозавров*	11	47
Динозавры вымерли от кислородного голодания?*	11	46
Древнейшая черепаха Африки*	9	120
Естественный палеонтологический музей*	6	94
Искапаемые остатки субтропических лесов в Арктике*	9	32
Кембрийская революция шла быстрее, чем думали. Несик К.Н.	12	94
Мумия "ледяного человека" из неолита. Мащенко Е.Н.	2	50
Мхи Огненной Земли хранят информацию о минувших климатических сдвигах*	9	32
Отложение кальцитов и теория Миланковича*	9	31
Палеоклимат по озерным осадкам*	9	31
Пищевой рацион австралопитеков и их эволюция*. Мащенко Е.Н.	9	120
Позднемеловое вымирание было глобальным*. Несик К.Н.	3	126
Портрет трилобита в глине*	10	122

Реконструкция палеоклимата по отложениям льдов Гренландии - разногласия палеоклиматологов*	9	30
Самый северный примат в Азии. <b>Мащенко Е.Н.</b>	1	64
Старииковские недуги - не новость*	8	123
У ископаемых хищников зубы болели чаще*	11	123
Усиление парникового эффекта при образовании Гималаев*	9	33
Зораптор - возможный предшественник всех динозавров*	11	122
Яйцо ископаемого страуса*	7	119
Яйцо "слоновой" птицы*	1	127

## АРХЕОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

Автунич - сельское поселение эпохи Киевской Руси. <b>Моця А.П.</b>	5	51
Древнейшие мореходы*	8	99
Древности озера Пяку-то. <b>Косинская Л.Л.</b>	11	43

### ИЗ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРХЕОЛОГИИ

75 лет Институту археологии Российской академии наук. <b>Мунчаев Р.М., Смирнов К.А.</b>	8	33
"Древности нашего Отечества". <b>Сорокина И.А.</b>	8	35
Уникальная маска из рога осы. <b>Крайнов Д.А.</b>	8	41
Индейцы делали клей из янтаря*	11	59
Как спасти пещерные фрески*	5	95
Майя: новые археологические открытия в истории древнейшей цивилизации. <b>Давлет Е.Г.</b>	3	48
Марсель доказал свою древность*	4	94
Мера. <b>Рябини Е.А.</b>	1	28
Миропонимание язычников - мифы, обряды, ритуалы. <b>Косарев М.Ф.</b>	7	79
Мурома. <b>Рябини Е.А.</b>	11	71
От цивилизации к примитивной жизни*	7	119
Страницы первобытной истории Южной Сибири. <b>Лисицын Н.Ф.</b>	2	54

## РЕЦЕНЗИИ

Где узнать о биоразнообразии? (на кн.: Глобальное биоразнообразие. Состояние мировых жизненных ресурсов. Отчет, подготовленный Всемирным центром природоохранного мониторинга). <b>Заварзин Г.А.</b>	11	124
"Настоятельно рекомендуется к переводу на русский язык..." (на кн.: Е. Дж. Хинч. Методы возмущений). <b>Андрянов И.В.</b>	2	122
Обыкновенное чудо (на изд.: "К". Журнал для любителей камня). <b>Здорик Т.Б.</b>	6	95
Призвание - заповедное дело (на кн.: Р. Ф. Штильмарк. Лукоморье - где оно?). <b>Чесноков Н.И.</b>	10	123

Растительность как континуум (на кн.: Дж. Т. Кертис. Пятьдесят лет виконсинской экологии растений). <b>Миркин Б.М., Наумова Л.Г.</b>	7	120
Трагические "секунды" в истории Земли (на кн.: Б.Небел. Наука об окружающей среде. Как устроен мир). <b>Миркин Б.М., Наумова Л.Г.</b>	12	115
Экоцид в СССР глазами американцев (на кн.: М. Фешбах, А. Френдлин-младший. Экоцид в СССР. Здоровье и природа на осадном положении). <b>Воронцов Н.Н.</b>	9	123
Я. Б. Зельдович, взгляд в бессмертие (на кн.: Знакомый незнакомый Зельдович в воспоминаниях друзей, коллег, учеников). <b>Балко А.В.</b>	8	124

## РЕЗОНАНС

Аномальные гидрометеорологические явления в Санкт-Петербурге. <b>Померанец К.С.</b>	6	35
Астрология и общество. <b>Сурдин В.Г.</b>	5	36
Иной взгляд. <b>Панина И.</b>	10	64
О теории Миланковича. <b>Краснов И.И.</b>	6	35
Может ли очевидность быть все же неубедительной? <b>Мэддокс Дж.</b> (перевод с английского <b>Балко А.В.</b> )	9	49

## НОВЫЕ КНИГИ

2 62, 123; 3 71, 128

## КОРОТКО

1 127; 2 89, 121; 3 110; 5 95; 7 50, 67, 122; 8 111; 9 77, 99; 10 122; 11 125

## ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

Еще один талантливый Мечников. <b>Любина Г.И.</b>	10	125
Марко Поло... европейский первопечатник? <b>Гельман З.Е.</b>	8	127
Мексиканец. <b>Зотов В.С.</b>	7	124
(Владимир Николаевич Дегтярев - экстравагантный садовод Соловецкого лагеря. <b>Шноль С.Э.</b> )	7	123
Милый Польш, я думаю о тебе. <b>Дирак М.</b>	9	125
Последние дни профессора К. Д. Покровского. <b>Смирнов В.А., Чуприна Р.И.</b>	11	126
Энрико Ферми, А. П. Знойко и Клим Ворошилов. <b>Горелки Г.Е.</b>	2	126

## РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

1 58, 82; 2 33; 5 43; 7 12; 8 121; 9 121; 12 117

# Авторский указатель журнала "Природа" 1994 года

<b>Абелев Г.И.</b> (см. Киселев Л.Л., Киселев Ф.Л.)	6	66					
Агапов Н.Н.	4	42					
Аксфорд У.И.	9	100					
Алексеев М.Н.	8	117					
Алибеков Л.А.	9	93					
Андреев А.Ф.	4	4					
Андрианов И.В.	2	122					
	11	110					
<b>Антипов Е.В.</b> (см. Путилин С.Н.)	10	3					
Арутюнян И.Н.	9	78					
Астахова О.О.	2	41					
<b>Баранов С.П.</b>	3	88					
Барашенков В.С.	7	3					
Барт М.Е. (см. Пименов Н.В., Савви- чев А.С., Опекунов А.Ю.)	8	44					
Басов И.А.	1	122					
	3	123					
	8	118					
	12	112					
Белянова Л.П.	1	108					
Бережной А.А.	5	83					
Берлин Ю.А.	1	104					
Боровик-Романов А.С.	4	138					
Боровой А.А.	11	62					
Борцаговский А.М.	4	170					
Брагинский В.Б.	1	90					
	1	103					
Бреус Т.К.	9	100					
Брик А.Б. (см. Рад- чук В.В.)	2	3					
Бродянский В.М.	4	32					
Бызов А.Л.	1	71					
	6	3					
Бялко А.В.	2	92					
	3	4					
	3	39					
	6	57					
	7	13					
	8	124					
	9	43					
	11	24					
Бялко В.А.	11	117					
<b>Василенко И.Я.</b>	10	25					
<b>Вахрушев В.А.</b> (см. Рязов В.В.)	9	52					
Величко А.А. (см. Кононов Ю.М., Фа- устова М.А.)	7	63					
Вельков В.В.	10	17					
Венкстерн Т.В.	12	44					
Викторов А.Г.	3	108					
	12	111					
Виноградов В.Н.	2	119					
	3	125					
Виноградов М.Е. (см. Лисицын А.П.)	10	32					
Вирин Л.И. (см. Су- воров Б.А., Торяник В.П., Хейфец Л.И.)	3	86					
Владимирский Б.М.	9	10					
Воловик Г.Е. (см. Крусиус М.)	4	56					
Воловник С.В.	9	90					
Вомперский С.Э.	7	44					
Воронин А.Ю. (см. Далькаров О.Д.)	12	3					
Воронцов Н.Н.	9	123					
	11	78					
<b>Галечян Г.А.</b>	3	65					
* Гельман Э.Е.	8	127					
Гинзбург В.Л.	6	6					
Гладышев А.И.	8	21					
Гладышев А.И. (см. Новикова Н.М.)	3	54					
Гольдберг С.И. (см. Мешалкин Л.Д.)	10	66					
Гончаров Г.А.	9	25					
Горелик Г.Е.	2	124					
	7	68					
	6	31					
Городницкий А.М. Гохман В.В. (см. Со- сиовский А.В.)	3	93					
Грицук А.Н.	1	117					
Гродницкий Д.Л.	8	27					
Грэхэм Л.Р.	8	102					
Гурштейн А.А.	9	60					
<b>Далькаров О.Д.</b> (см. Воронин А.Ю.)	12	3					
Дате М.	4	22					
Дергачев В.А.	1	3					
Дирак М.	9	125					
Дозорова К.А.	7	116					
	8	120					
<b>Дорофеев Е.А.</b> (см. Доценко В.С.)	12	12					
Доценко В.С. (см. Дорофеев Е.А.)	12	12					
Дзавлет Е.Г.	3	48					
<b>Ермолаева Н. С.</b>	11	80					
<b>Заварзин Г.А.</b>	7	15					
	11	124					
Замолодчиков Д.Г.	7	22					
Здорик Т.Б.	6	95					
Зейлик Б.С. (см. Зо- зулин А.В.)	2	26					
Зозулин А.В. (см. Зейлик Б.С.)	2	26					
Зотов В.С.	7	124					
Зубрева М.Ю.	1	37					
	12	71					
<b>Иванов М.К.</b> (см. Лимонов А.Ф.)	2	63					
Ивановский В.В.	2	34					
Исаев А.С.	7	18					
<b>Каабак Л.В.</b>	7	51					
Казьмин В.Г. (см. Наталов Л.М.)	4	16					
Каллиникова В.Д.	8	62					
Камерон А.Г.У.	3	31					
Капица А.А.	4	122					
Капица А.П.	4	180					
Капица П.Л.	4	80					
	4	114					
	4	120					
	4	130					
	4	146					
	4	156					
	4	169					
	4	190					
Карасев Б.В.	3	78					
Карлов Н.В.	4	148					
Кафрани-Эрмстави К.А.	12	66					
Кац Я.Г. (см. Козлов В.В.)	11	121					
Кац Я.Г. (см. Козлов В.В., Ушаков С.А.)	11	34					
Кириллова Г.Л.	1	124					
Киселев Л.Л.	12	25					



Сонин А.С. (см. Френкель В.Я.)	10	86	Торяник В.П. (см. Вирин Л.И., Суворов Б.А., Хейфец Л.И.)	3	86	Хохряков А.П.	6	36
Сорокина И.А.	8	35	Трифонов В.Г.	8	117	Хрущев Н.С.	4	126
Сорокина К.Л.	12	103	Трифонова Т.А.	2	106			
Сосновский А.В. (см. Гохман В.В.)	3	93	Тулькес С.Г.	12	56	Целлариус А.Ю.	5	26
Стопповский Ю.А. (см. Удина И.Г.)	5	44				Цыган А.И.	8	82
Суворов Б.А. (см. Вирин Л.И., Торяник В.П., Хейфец Л.И.)	3	86	Удина И.Г. (см. Стопповский Ю.А.)	5	44	Чалов Р.С. (см. Лодина Р.В.)	7	57
Сурдин В.Г.	1	44	Утюжников С.В. (см. Клунов Б.А. и др.)	6	54	Чернышев В.Б.	9	20
	1	113	Ушаков С.А. (см. Кац Я.Г., Козлов В.В.)	11	34	Чесноков Н.И.	10	123
	5	36				Чичагов В.П.	9	80
	10	110				Чуприна Р.И. (см. Смирнов В.А.)	11	126
	14	112						
Сухарева Б.С.	12	50						
			Фаустова М.А. (см. Величко А.А., Кононов Ю.М.)	7	63	Шенберг Д.	4	106
Тарко А.М.	7	27	Федин В.П.	5	13	Шипов С.Я.	3	27
Татаринов А.Г.	11	60	Фейнберг Е.Л.	11	30	Шноль С.Э.	7	123
Твердохлебов Е.Н.	12	52	Фортос В.Е. (см. Клунов Б.А. и др.)	6	54		9	3
Темурьянц Н.А.	9	14	Френкель В.Я. (см. Сонин А.С.)	10	86			
Терновская Ю.Г. (см. Терновский Д.В.)	3	80				Энгельгардт В.А.	12	26
Терновский Д.В. (см. Терновская Ю.Г.)	3	80	Хани В.Е.	1	60		12	36
Терновская Ю.Г.	3	80	Халатников И.М.	4	92			
Томирдмаро С.В.	3	98	Хейфец Л.И. (см. Вирин Л.И., Суворов Б.А., Торяник В.П.)	3	86	Юдин В.В.	6	28
Торн К.С.	1	90				Юдович Я.Э.	1	16
	2	78						
	5	75						
	7	92						
	8	86						
	10	96						
	11	87						

Над номером работали  
 Ответственный секретарь  
 Л. П. БЕЛЯНОВА  
 Заместитель ответственного секретаря  
 В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы  
 И. Н. АРУТЮНЯН  
 О. О. АСТАХОВА  
 М. Ю. ЗУБРЕВА  
 Г. В. КОРОТКЕВИЧ  
 Т. Ю. ЛИСОВСКАЯ  
 М. С. ПОКРОВСКАЯ  
 К. Л. СОРОКИНА  
 Н. В. УЛЬЯНОВА  
 Н. В. УСПЕНСКАЯ  
 О. И. ШУТОВА

Литературный редактор  
 Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы  
 Л. М. БОЯРСКАЯ, Е. В. СИНИЦЫНА

Заведующая редакцией  
 И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор  
 Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор  
 Н. А. ПОТАПОВА

Корректоры  
 В. А. ЕРМОЛАЕВА  
 Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

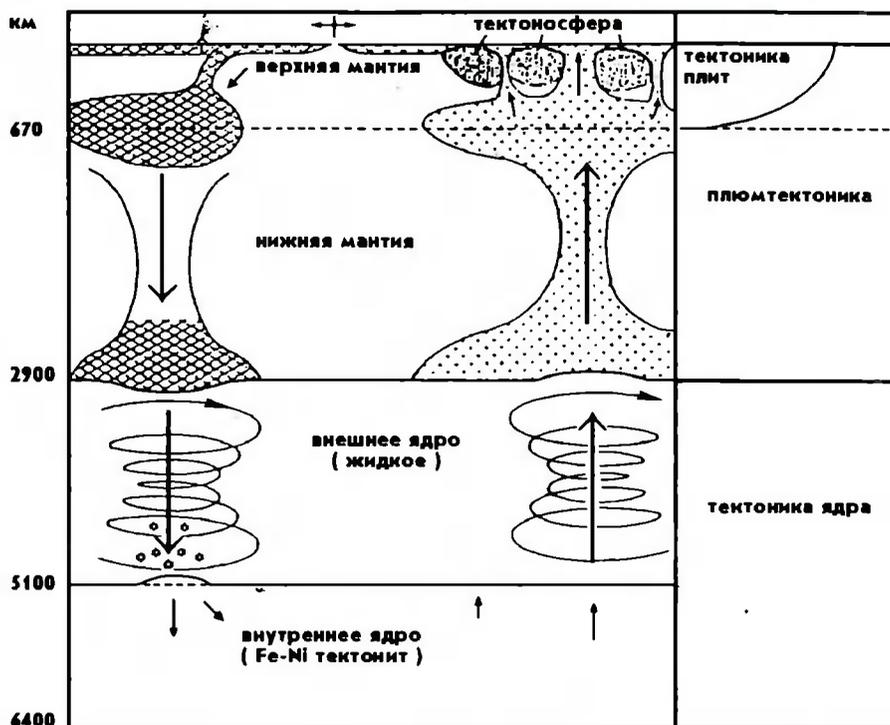
В художественном оформлении номера принимали участие  
 В. И. ЕГУДИН  
 В. С. КРЫЛОВА  
 В. К. СВЕТАШКОВ  
 Е. К. ТЕНЧУРИНА  
 Ю. А. ТЮРИШЕВ

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:  
 117810, Москва, ГСП-1  
 Мароновский пер., 26  
 Тел.: 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 10.11.94  
 Подписано в печать 23.12.94  
 Формат 70×100 1/16  
 Бумага книжно-журнальная № 2  
 Офсетная печать  
 Усл. печ. л. 10,32  
 Усл.-кр. отт. 199,0 тыс.  
 Уч.-изд. л. 15,4  
 Тираж 7432 экз.  
 Зак. 3622

Ордена Трудового Красного Знамени  
 Чеховский полиграфический комбинат  
 Комитета Российской Федерации по печати  
 142300 г. Чехов  
 Московской области



В 60-е годы прочно утвердившаяся в геологии фиксистская концепция была буквально «сметена» противоположной ей мобилистской парадигмой, получившей название тектоники плит. Однако с годами и эта теория становилась все более уязвимой для критики. Недавно японским специалистам удалось создать новую глобальную геодинамическую модель Земли, учитывающую весь накопленный к настоящему времени фактический материал о глубинном строении и поверхностной геологии нашей планеты и опирающуюся на известные законы физики и термодинамики. В этой модели в недрах планеты три тектоники сменяют друг друга по радиусу: тектоника плит, плюмтектоника и тектоника ядра. Тем самым закладывается новая парадигма в геологии, возможно, означающая революционный этап в ее развитии.

#### ГЕОЛОГИЯ НА ПОРОГЕ НОВОЙ НАУЧНОЙ РЕВОЛЮЦИИ!

Пуцаровский Ю. М. ПАРАДИГМЫ В ГЕОЛОГИИ

Хани В. Е. ОТ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ К ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКЕ

