

ISSN 0037-874X

# 10 ПРИРОДА

1982



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

академик  
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТУШКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР  
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук  
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ

Академик  
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР

Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

На первой странице обложки. Современный коралл Асторго из Индийского океана (район Сейшельских о-вов).

См. в номере: Кузьмичева Е. И. Кораллы как «геологические часы».

Фото В. Н. Машатина

На четвертой странице обложки. Прорезание яиц в кладке новогвинейского питона.

См. в номере: Орлов Н. Л. Разведение змей в террариуме.

© Издательство «Наука»  
«Природа», 1982 г.

**В НОМЕРЕ**

К 60-ЛЕТИЮ СССР

<b>Кольцов А. В.</b> «Сконцентрировать в себе творчество всех народов, населяющих наш Союз». Роль Академии наук в изучении природных ресурсов СССР в 1917—1941 гг.	<b>2</b>
<b>Нагаев Э. Л.</b> Магнитные полупроводники	<b>8</b>
<b>Кузьмичева Е. И.</b> Кораллы как «геологические часы»	<b>18</b>
<b>Бисноватый-Коган Г. С.</b> Нейтрино во Вселенной	<b>26</b>
<b>Мясник М. Н., Соколов В. А., Скворцов В. Г.</b> Фотобиологические аспекты радиационного поражения клеток	<b>32</b>
<b>Дмитриев В. Г., Тарасов Л. В.</b> Адаптивная оптика	<b>39</b>
<b>Архипов А. Я.</b> Нефть и газ на больших глубинах	<b>50</b>

**РАЗНЫЕ ГРАНИ ТВОРЧЕСТВА А. Л. ЧИЖЕВСКОГО**

<b>Алексеев В. П.</b> Творчество А. Л. Чижевского и современная наука	<b>56</b>
<b>Голованов Л. В.</b> Стиль жизни, личности, мышления	<b>61</b>
<b>Байдин В. В.</b> Художник науки	<b>65</b>



<b>Орлов Н. Л.</b> Разведение змей в террариуме	<b>72</b>
-------------------------------------------------	-----------



<b>Григорян Г. Б.</b> Комплексный географический подход к проблеме Севана	<b>80</b>
---------------------------------------------------------------------------	-----------

Из «Природы» 1912 года	<b>91</b>
------------------------	-----------

<b>Першиц А. И.</b> Остаточные явления в культуре	<b>92</b>
---------------------------------------------------	-----------

<b>Сурдин В. Г.</b> SS 433: новые результаты	<b>101</b>
----------------------------------------------	------------

<b>Сюзюмов А. Е.</b> 80-й рейс «Гломара Челленджера»	<b>102</b>
------------------------------------------------------	------------

<b>НОВОСТИ НАУКИ</b>	<b>49, 104</b>
----------------------	----------------

<b>КНИГИ, ЖУРНАЛЫ</b>	<b>120</b>
-----------------------	------------

<b>НОВЫЕ КНИГИ</b>	<b>122</b>
--------------------	------------

<b>В КОНЦЕ НОМЕРА</b>	<b>126</b>
-----------------------	------------

<b>Нехаев М. Н., Флоренский П. В.</b> Золото Подмосковья	<b>126</b>
----------------------------------------------------------	------------

## «Сконцентрировать в себе творчество всех народов, населяющих наш Союз»

Роль Академии наук в изучении природных ресурсов СССР в 1917—1941 гг.

**А. В. Кольцов,**  
доктор исторических наук  
Ленинград

Великая Октябрьская социалистическая революция раскрепостила народы России, подняла их к сознательному историческому творчеству. Под руководством В. И. Ленина, Коммунистической партии в первые послереволюционные годы развернулась борьба за создание Советского многонационального государства, ускоренное развитие экономики и культуры отсталых в прошлом наций и народностей страны. История национально-государственного строительства в СССР неразрывно связана с развитием советской науки.

В. И. Ленин, Коммунистическая партия рассматривали науку как могучее оружие в борьбе за построение социалистического общества. Науке отводилась важная роль в исследовании и рациональном использовании богатейших природных ресурсов страны, развитии и размещении ее производительных сил.

В апреле 1918 г. в труде «Очередные задачи Советской власти» В. И. Ленин писал: «Российская Советская республика находится постольку в выгодных условиях, что она располагает — даже после Брестского мира — гигантскими запасами руды (на Урале), топлива в Западной Сибири (каменный уголь), на Кавказе и на юго-востоке (нефть), в центре (торф), гигантскими богатствами леса, водных сил, сырья для химической промышленности (Карабугаз) и т. д. Разработка этих естественных богатств приемами новейшей техники даст основу невиданного прогресса производительных сил»<sup>1</sup>.

Широкую программу деятельности ученых в области исследования естествен-

ных производительных сил страны В. И. Ленин сформулировал в труде «Набросок плана научно-технических работ», написанном в апреле 1918 г. В. И. Ленин указывал:

«Академии наук, начавшей систематическое изучение и обследование естественных производительных сил России, следует немедленно дать от Высшего совета народного хозяйства поручение

образовать ряд комиссий из специалистов для возможно более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России»<sup>2</sup>.

Среди учреждений Академии наук, разрабатывавших проблемы исследования и освоения природных ресурсов, ведущую роль играла Комиссия по изучению естественных производительных сил (КЕПС), основанная в 1915 г. Возглавлял ее академик В. И. Вернадский.

Стремление ученых Академии наук расширить фронт исследований в области природных ресурсов особенно проявилось в деятельности КЕПС. Одно за другим в ее составе возникали новые научные подразделения. В апреле 1918 г. были созданы такие подразделения КЕПС, как Отдел по редким элементам и радиоактивным веществам, Отдел нерудных ископаемых, Отдел каменных строительных материалов, Отдел оптотехники, Отдел животноводства, Отдел по исследованию Севера. Тогда же началась деятельность Института по изучению платины и других благородных металлов. В мае 1918 г. приступили к работе Институт физико-химического анализа и Почвенный отдел КЕПС. В июне 1918 г. возникли Промышленно-географический отдел и Мо-

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 36, с. 188.

<sup>2</sup> Там же, с. 228.

сковское отделение КЕПС, которым руководил академик П. П. Лазарев<sup>3</sup>.

Усилия сотрудников КЕПС были направлены на то, чтобы изучить природные ресурсы, обеспечить тем самым подъем экономики и культуры молодой Республики Советов. Показателен следующий факт. В апреле 1918 г. один из организаторов Промышленно-географического отдела КЕПС А. А. Григорьев (впоследствии академик) составил записку с предложением приступить к промышленно-географическому изучению центральных районов страны. «На основании собранных материалов можно бы было со временем создать прочный фундамент для организации хозяйства России», — писал ученый. 29 апреля 1918 г. предложение А. А. Григорьева рассматривалось на заседании совета КЕПС и получило одобрение.

В июне 1918 г. Академия наук, по поручению В. И. Ленина, подготовила записку «О задачах научного строительства». В этом документе большое внимание уделялось проблемам исследования природных богатств страны<sup>5</sup>.

Консолидации научной интеллигенции, мобилизации усилий ученых на решение народнохозяйственных задач весьма способствовала деятельность Научно-технического отдела ВСНХ, организованного в августе 1918 г. Во главе НТО стоял Н. П. Горбунов (будущий академик).

В первые годы после победы Октября Академия наук приступила к исследованию природных богатств ряда важнейших в промышленном отношении регионов страны.

В 1918 г. при Московском отделении КЕПС была образована Комиссия по исследованию Курской магнитной аномалии, которой руководил академик П. П. Лазарев. В разработке проблем, связанных с изучением Курской аномалии, участвовали академики А. Н. Крылов, А. Ф. Иоффе, В. А. Стаклов, будущий член-корреспондент АН СССР П. М. Никифоров и др. Особенно большая роль в организации исследовательских работ в этом регионе принадлежала будущему академику И. М. Губкину.

В 1920 г. ученые Академии наук начали работы по исследованию природных ресурсов Кольского полуострова. В результате многолетних усилий возглавляемые академиком А. Е. Ферсманом коллективы ученых открыли богатейшие запасы апатито-нефелиновых месторождений. Весьма плодотворным было участие ученых Академии наук, в особенности академика Н. С. Курнакова и сотрудников руководимого им Института физико-химического анализа, в исследовании природных богатств залива Кара-Богаз-Гол. Началось изучение калийных месторождений Соликамска, Тихвинского месторождения бокситов, развернулись почвенные исследования.

Научные исследования Академии наук использовались созданной по инициативе В. И. Ленина в феврале 1920 г. Государственной комиссией по электрификации России (ГОЭЛРО) во главе с Г. М. Кржижановским. Сотрудники КЕПС участвовали в работе Петроградской группы ГОЭЛРО, составлении плана электрификации Северного района.

Одной из главных организационных форм исследований в области естественных производительных сил являлись академические экспедиции. Экспедиционная деятельность Академии наук не прекращалась и в тяжелейшие годы иностранной военной интервенции и гражданской войны: так, даже в 1919 г. она осуществила 7 экспедиций.

Образование в декабре 1922 г. Союза Советских Социалистических Республик имело выдающееся значение для развития отечественной науки, формирования новых научных центров, подготовки кадров ученых.

Повышению роли Академии наук в научном потенциале страны способствовало постановление Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров СССР «О признании Российской Академии наук высшим ученым учреждением Союза ССР», принятое 27 июля 1925 г. Отныне Российская Академия наук была преобразована во Всесоюзную и получила наименование: Академия наук Союза Советских Социалистических Республик<sup>6</sup>. Таким образом, Советское правительство возложило на Академию наук обязанность быть главным, ведущим научным центром страны.

<sup>3</sup> Отчеты о деятельности КЕПС, 1918, № 12. Пг, с. 31—121; Работы Российской Академии наук в области исследования природных богатств России. Обзор деятельности КЕПС за 1916—1921 гг. Пг, 1922, с. 7—89.

<sup>4</sup> Отчеты о деятельности КЕПС, 1918, № 12, с. 12.

<sup>5</sup> Ленин и Академия наук. Сборник документов. М., 1969, с. 49—55.

<sup>6</sup> Собрание Законов и Распоряжений Рабоче-Крестьянского правительства СССР, 1925, № 48, ст. 351.

Определяя задачи Академии наук, в сентябре 1925 г. в речи на торжественном заседании в связи с ее 200-летием председатель ЦИК СССР М. И. Калинин говорил: «...с сегодняшнего дня наша Академия наук становится не только российской, а общесоюзной, и она должна сконцентрировать в себе творчество всех народов, населяющих наш Союз»<sup>7</sup>.

После признания Академии наук высшим научным учреждением СССР масштабы ее экспедиционной деятельности значительно возросли. В 1926 г. в системе АН СССР было образовано новое научное учреждение — Особый комитет по исследованию союзных и автономных республик (ОКИСАР). В апреле 1926 г. Общее собрание АН СССР утвердило председателем ОКИСАР А. Е. Ферсмана.

Основная задача ОКИСАР заключалась в проведении систематических исследований естественных производительных сил национальных районов СССР, а также согласовании всех экспедиционных работ АН СССР. Структура ОКИСАР формировалась с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность в короткий срок развернуть исследование на территории ряда союзных и автономных республик. В его состав входили комиссии, созданные для организации экспедиций в национальных районах СССР. В 1927 г. ОКИСАР объединял Комиссию по изучению среднеазиатских республик (председатель академик В. В. Бартольд), Комиссию по изучению Закавказской СФСР (председатель академик Ф. Ю. Левинсон-Лессинг), Комиссию по изучению Якутской АССР (председатель академик В. Л. Комаров), Северную комиссию (председатель Д. А. Золотарев), Комиссию по изучению Чувашской АССР (председатель академик Н. Я. Марр), Комиссию по изучению Башкирской АССР (председатель С. И. Руденко) и др.

Отличительная особенность всей работы ОКИСАР состояла в том, что этот орган поддерживал тесные связи с руководящими органами тех регионов страны, где велись экспедиционные исследования. «Характер этих научных исследований прежде всего определялся практическими запросами культурно-хозяйственного строительства молодых республик, причем в этих своих экспедициях Академия стремилась к созданию на местах культурных и научных центров — национальных науч-

ных библиотек и музеев — с предоставлением им коллекций и материалов, собираемых экспедициями», — писал в 1927 г. А. Е. Ферсман<sup>8</sup>.

Начиная с 1925 г. Академия наук приступила к комплексному исследованию производительных сил Якутской АССР. В 1926—1928 гг. на территории республики велись геологические и гидрологические работы, изучались ее флора и фауна. Видное место в программе деятельности Якутской экспедиции занимали этнографические исследования. Изучались быт и культура населения республики. Вне поля зрения ученых не остались и вопросы, касавшиеся исследования охотничье-промыслового хозяйства, а также рыбных богатств.

Одним из результатов работы экспедиции явилось создание на территории Якутской АССР ряда метеорологических, гидрометеорологических и аэрологических станций, геофизической обсерватории и других стационарных учреждений. Академия наук оказывала помощь республике в организации Национальной библиотеки в Якутске.

Комплексный характер носила Казахская экспедиция Академии наук. В ее состав входили статистико-экономический и антропологический отряды, отряд по биологическому обследованию пород домашних животных, почвенно-ботанический отряд и геологическая партия. Участники экспедиции вели антропологические и медико-санитарные исследования среди населения Казахстана. Они развернули статистико-экономические и почвенно-ботанические работы, что имело не только теоретическое, но и практическое значение, в частности для землеустройства на территории республики. Практической направленностью отличались работы по биологическому обследованию пород домашних животных. Изучались месторождения полезных ископаемых и соляные озера Казахстана. Ученым удалось открыть новые месторождения полезных ископаемых. Результаты экспедиционных исследований были учтены при составлении первого пятилетнего плана развития народного хозяйства Казахской АССР.

Экспедиционные работы на территории Киргизской АССР были связаны главным образом с выполнением тех задач, которые возникли в ходе подготовки проек-

<sup>7</sup> Калинин М. И. Избранные произведения. М., 1980, т. 1, с. 688.

<sup>8</sup> Ферсман А. Е. Экспедиционная деятельность. — В кн.: АН СССР за десять лет. 1917—1927, с. 168.

тов строительства Туркестано-Сибирской железной дороги. В этих целях в 1927 г. была организована специальная Туркестано-Сибирская экспедиция Академии наук, в работе которой участвовали также Геологический комитет и Гидрологический институт. Рекомендации ученых оказали существенную помощь строителям дороги.

В 1927 г. Закавказская комплексная экспедиция Академии наук развернула исследования на территории Армянской ССР. Академические экспедиции работали в Грузинской ССР, Туркменской ССР, Таджикской АССР, Башкирской АССР, Чувашской АССР, Дагестанской АССР, Карельской АССР, Бурятской АССР и других союзных и автономных республиках.

Развитие экспедиционной деятельности Академии наук характеризуется следующими данными. В 1926 г. она организовала 56 экспедиций и отдельных отрядов, в 1927 г. — 65 экспедиций, в 1928 г. — 91 экспедицию. В 1926 г. в составе экспедиций работали 240 научных и 40 технических сотрудников, не считая рабочих; в 1928 г. в экспедициях участвовали 634 научных сотрудника. Всего за период 1919—1928 гг. Академия наук организовала 371 экспедицию<sup>9</sup>. К проведению экспедиционных исследований привлекались сотрудники местных вузов и научных учреждений.

Организуя экспедиции в различные районы страны, Академия наук стремилась наладить планомерное обследование всей обширной территории Советского Союза.

В конце 20-х — начале 30-х годов экспедиционные исследования получили дальнейшее развитие. Решение исторических задач реконструкции народного хозяйства, индустриализации и коллективизации, культурной революции невозможно было без углубленного изучения и рационального использования природных ресурсов страны.

Особенно быстрыми темпами развивались экспедиционные работы в период первой пятилетки — 1928—1932 гг. Совершенствовались организационные формы экспедиционной деятельности. В 1928 г. ОКИСАР был переименован в Комиссию экспедиционных исследований (КЭИ). В 1930 г. на базе КЕПС и КЭИ Академия наук создала Совет по изучению производительных сил СССР (СОПС). В «Положении о СОПС», утвержденном Общим собра-

нием АН СССР в апреле 1930 г., указывалось: «Задачей СОПС является общее руководство научно-исследовательской деятельностью учреждений АН СССР в той части, которая имеет целью изучение производительных сил Союза»<sup>10</sup>. В октябре 1930 г. Общее собрание АН СССР избрало председателем СОПС академика И. М. Губкина.

СОПС продолжил и развил наметившийся ранее в деятельности Академии наук курс на организацию крупных комплексных экспедиций. Как правило, в состав таких экспедиций входили специалисты, представлявшие различные области науки. Это создавало условия для всестороннего исследования тех территорий, где они работали.

В 1931 г. СОПС направил в различные районы страны 45 экспедиций, которые подразделялись на 86 отрядов. В экспедициях участвовали 436 научных и научно-технических сотрудников. В 1932 г. работала 41 экспедиция в составе 140 отрядов с участием 676 научных сотрудников. Как видно, общее количество экспедиций несколько уменьшилось, что объяснялось их укрупнением. Одновременно наблюдалось увеличение численности экспедиционных отрядов и участвовавших в экспедициях сотрудников.

В 1932 г. на территории Европейской части страны работали организованные СОПС Кольская, Северная геоботаническая, Ленинградская почвенная, Волжско-Каспийская соляная экспедиции, а также Усинская экспедиция по изучению вечной мерзлоты, Крестецкая геоботаническая экспедиция и др. В Крыму и на Кавказе вели исследования Крымская физико-химическая, Восточно-Грузинская геологическая, Армянская инженерно-геологическая и Закавказская геохимическая экспедиции. На территории Урала, Западной и Восточной Сибири развернули исследования Уральская титано-магнетитовая, Уральская геохимическая железорудная, Алтайско-Кузнецкая петрографо-геохимическая, Кулундинская соляная и другие экспедиции. В Среднюю Азию СОПС направил Узбекскую геохимическую, Киргизскую комплексную, Таджикско-Памирскую комплексную и другие экспедиции. Деятельность ряда экспедиций (Урало-Эмбенской физико-химической, Мугоджарской, Чимкентской гидрогеологической и других) протекала в Казахстане.

<sup>9</sup> Ферсман А. Е. Экспедиционная деятельность. — В кн.: Академия наук и ее задачи. Л., 1926, с. 3.

<sup>10</sup> Организация советской науки в 1926—1932 гг. Сборник документов. Л., 1974, с. 224.

Представление о направленности экспедиционных исследований можно получить на примере Таджикско-Памирской комплексной экспедиции под руководством Н. П. Горбунова, в состав которой входили Вахшский, Дарвазский гляциологический, Гиссарский геохимический и сейсмологический отряды, а также геоботаническая партия. Помимо геологических, геохимических и геоботанических изысканий, на территории Таджикистана проводились и этнографические исследования. В результате всех этих работ были намечены перспективы развития горных богатств республики, пути и направления, по которым должно было проводиться хозяйственное строительство Таджикистана. ЦИК и СНК Таджикской ССР, подводя итоги работы экспедиции, отмечали, что она «создала себе большой авторитет в глазах трудящихся Таджикской ССР»<sup>11</sup>.

Значительными достижениями были отмечены экспедиционные исследования в Узбекистане, Киргизии, Туркмении и Каракалпакской АССР. В 1934 г. в ознаменование 10-летия национального-государственного размежевания Средней Азии был издан коллективный труд «Академия наук СССР республикам Средней Азии». В предисловии к нему И. М. Губкин писал: «За последние годы дана совершенно новая оценка природным богатствам Средней Азии, где были открыты, изучены, а во многих случаях и освоены хозяйством большие ранее неизвестные богатства»<sup>12</sup>.

Большое народнохозяйственное значение имели экспедиционные исследования на территории Урала и Сибири. Ученые активно включились в борьбу за решение поставленной партией исторической задачи, связанной с созданием Урало-Кузбасского комбината. В районе строительства этого комбината, на сопредельных территориях Западной Сибири, в Хакасской и Ойротской автономных областях, в Горной Шории велись гравиметрические, петрографические и геохимические работы. Изучались соляные озера. Были открыты новые месторождения металлов и определены пути их освоения. Исследование производительных сил Сибири стало одним из магистральных направлений экспедиционной деятельности Академии наук.

Важной вехой на пути организации экспедиционных исследований на Урале и в

Сибири была Урало-Кузбасская сессия Академии наук, состоявшаяся в июне 1932 г. в Свердловске и Новосибирске. Сессия обсуждала проблемы, касавшиеся строительства Урало-Кузбасского комбината, развития производительных сил Урала и Сибири. Выступая на сессии с докладом «Минерально-сырьевая база Урала в свете новейших исследований и разведок и основные задачи ее дальнейшего изучения», И. М. Губкин выдвинул идею о целесообразности поисков нефти в Западной Сибири<sup>13</sup>. Дальновидный прогноз И. М. Губкина полностью подтвердился в последующие годы, когда Западная Сибирь стала главной базой страны по добыче нефти и газа.

Академия наук приступила к организации конференций по изучению производительных сил союзных и автономных республик, автономных областей. В 1932—1933 гг. состоялись конференции по изучению производительных сил Закавказья, Узбекистана, Казахстана, Киргизии, Таджикистана, Туркмении и Каракалпакии. С докладами на конференциях выступали представители республиканских правительственных органов, ученые АН СССР, сотрудники научных учреждений и вузов союзных и автономных республик.

При участии Академии наук в апреле 1932 г. проходила Всесоюзная конференция по размещению производительных сил, созданная Госпланом СССР в связи с подготовкой второго пятилетнего плана. С докладами на конференции выступили академики И. Г. Александров, И. М. Губкин, А. Ф. Иоффе, Б. А. Келлер, В. Л. Комаров, Н. С. Курнаков, А. Е. Ферсман и другие ученые.

Академия наук заботилась о том, чтобы результаты экспедиционных исследований доводились до сведения правительственных органов союзных и автономных республик. Ученые вносили конкретные рекомендации, касавшиеся перспектив экономического и культурного строительства обследованных регионов. Итоги выполненных исследований обобщались в отчетах о деятельности АН СССР, трудах КЕПС и СОПС. Издавались труды отдельных экспедиций, публиковались материалы конференций по изучению производительных сил СССР.

Экспедиционная деятельность Акаде-

<sup>11</sup> Академия наук Таджикской ССР. Душанбе, 1979, с. 33.

<sup>12</sup> Академия наук СССР республикам Средней Азии. 1924—1934. М.— Л., 1934, с. 6.

<sup>13</sup> Проблемы Урало-Кузбасского комбината. Л., 1932, т. I, с. 30—110. В 1978 г. академик А. А. Трофимук оценил прогноз И. М. Губкина как «великое предвидение». См.: Трофимук А. А.— Правда, 1978, 4 января.



мии наук стала одним из факторов, содействовавших организации региональных научных центров. В 1932 г. Академия наук создала Закавказский, Дальневосточный и Уральский филиалы, Казахстанскую и Таджикистанскую базы. Накануне Великой Отечественной войны в системе АН СССР работали 7 филиалов (Узбекский, Казахский, Азербайджанский, Таджикский, Армянский, Туркменский и Уральский), две научно-исследовательские базы (Кольская и Северная). В феврале 1941 г. приступила к работе Академия наук Грузинской ССР, организованная на базе Грузинского филиала АН СССР. В последующее время академии наук были созданы во всех союзных республиках, при этом 9 из 14 республиканских академий возникли на базе филиалов АН СССР.

Широко развернув исследования в области производительных сил, Академия наук руководствовалась ленинскими идеями о необходимости реорганизации промышленности и экономического подъема России, рационального размещения промышленности страны, сформулированными в «Наброске плана научно-технических работ».

Текст ленинского «Наброска плана научно-технических работ» был приведен в книге «Академия наук XVII партсъезду. II. Экспедиционная деятельность. Отчет Совета по изучению производительных сил», опубликованной в 1934 г. и представлявшей отчет ученых Академии наук о ходе реализации заданий В. И. Ленина. В книге содержались ценные материалы, характеризующие итоги экспедиционных исследований во всех крупнейших регионах СССР. В ней особо отмечалось, что «СОПС вместе со всем коллективом научных работников Академии наук может вписать в актив страны ряд крупнейших достижений в деле социалистического строительства и познания природных богатств»<sup>14</sup>.

В период предвоенных пятилеток при руководящем участии ученых Академии наук были открыты крупные месторождения нефти между Волгой и Уралом, месторождения медно-никелевых руд в Норильском районе и на Кольском полуострове, ряд других месторождений полезных ископаемых. Выдающимся достижением стало то, что к началу 40-х годов Советский Союз

вышел на первое место в мире по разведанным запасам ряда полезных ископаемых. Накануне Великой Отечественной войны страна была обеспечена необходимым минеральным сырьем.

Насколько значительной была роль ученых Академии наук в выполнении ленинской программы развития производительных сил, убедительно свидетельствовали статья И. М. Губкина о деятельности СОПС и доклад А. Е. Ферсмана «Ленин и развитие производительных сил», с которым он выступил на сессии Общего собрания АН СССР в апреле 1940 г.<sup>15</sup> И в статье, и в докладе охарактеризовано значение деятельности Академии наук для обеспечения неуклонного роста производительных сил, подъема экономики и культуры национальных районов СССР.

Коммунистическая партия и Советское правительство высоко оценили созидательную работу ученых в области исследования производительных сил страны. Л. И. Брежнев так характеризует роль ученых в борьбе за построение социалистического общества: «Они были активнейшими участниками создания плана ГОЭЛРО — первого подлинно научного перспективного плана развития народного хозяйства. Они деятельно участвовали в разработке и осуществлении первых пятилетних планов нашего социалистического строительства»<sup>16</sup>.

Проводя экспедиционные исследования на территории всей страны, ученые всемерно содействовали экономическому и культурному возрождению национальных районов.

В постановлении ЦК КПСС «О 60-й годовщине образования Союза Советских Социалистических Республик» отмечается, что «история не знает государства, которое в кратчайшие сроки сделало бы так много для всестороннего развития наций и народностей, как СССР — социалистическое Отечество всех наших народов»<sup>17</sup>.

Выдающийся вклад в осуществление ленинской национальной политики партии — политики братской дружбы народов СССР — внесли ученые Академии наук СССР.

<sup>14</sup> Академия наук СССР XVII партсъезду. II. Экспедиционная деятельность. Отчет Совета по изучению производительных сил. Л., 1934, с. 7.

<sup>15</sup> Губкин И. М. — Вестник АН СССР, 1937, № 10—11, с. 121—144; Ленин и Академия наук, с. 252—265.

<sup>16</sup> Брежнев Л. И. Ленинским курсом. Речь и статьи. М., 1976, т. 5, с. 363.

<sup>17</sup> О 60-й годовщине образования Союза Советских Социалистических Республик. Постановление ЦК КПСС от 19 февраля 1982 г. М., 1982, с. 6.

## Магнитные полупроводники

Э. Л. Нагаев



Эдуард Леонович Нагаев, доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института источников тока. Занимается теорией магнитных полупроводников, поверхностных явлений, а также магнитными фазовыми переходами. Один из авторов открытия «Явление гетерофазной автолокализации электронов проводимости в полупроводниках».

Магнитные полупроводники — очень своеобразные материалы: они сочетают в себе магнитные свойства магнетиков с электрическими свойствами полупроводников. Что такое полупроводник, общеизвестно, термин же «магнетик» нуждается в пояснении. Магнетиками называют материалы, которые или обладают самопроизвольной намагниченностью, или могут быть сильно намагничены относительно небольшими магнитными полями. И полупроводники и магнетики — это то, на чем основана современная электроника. Обычно полупроводники — не магнетики, а магнетики — не полупроводники. Соответственно эти материалы выполняют в электронных устройствах совершенно различные функции. Так, на полупроводниках строятся радиотехнические схемы, а магнетики используются для записи информации. Примером тому — магнитофонные ленты, покрытые порошком магнетита.

Тот факт, что магнитные полупроводники объединяют в себе сразу свойства и тех и других материалов, открывает возможности создания на их основе принципиально новых приборов. И дело не только в том, что в зависимости от потребности могут использоваться то электрические, то магнитные свойства одного и того же материала. Чрезвычайно существенно и важно — и в том именно и состоит

специфика магнитных полупроводников, — что их электрические свойства сильно влияют на магнитные и наоборот. Из-за такого взаимовлияния в магнитных полупроводниках становятся возможными новые физические явления, отсутствующие в магнетиках-неполупроводниках и полупроводниках-немагнетиках.

### КАКИЕ БЫВАЮТ МАГНЕТИКИ

Сказать, что люди знают о магнетиках уже несколько тысячелетий, — это сказать полуправду. Действительно, о таком магнетике, как магнитный железняк, было известно еще в Древней Греции и Китае. Магнитный железняк представляет собой пример ферромагнетика — материала, который намагничен сам по себе, в отсутствие каких-либо внешних для этого причин. Но только в 30-х годах нашего столетия стали известны магнетики совершенно иного типа — так называемые антиферромагнетики. Они отличаются от ферромагнетиков отсутствием самопроизвольной намагниченности. Но зато, в отличие от немагнитных материалов, их можно очень сильно намагнитить относительно небольшими внешними магнитными полями.

Современная теория магнетизма основана на том экспериментальном факте, что электрон, неся электрический заряд,

одновременно является микроскопическим магнитом. Величина и направление созданного им магнитного поля характеризуются вектором спина электрона.

В атомах спины отдельных электронов складываются в суммарный спин атома. Обычно спин каждого атома в кристалле равен нулю. Однако существуют «магнитные» атомы, у которых спин отличен от нуля. К ним относятся атомы так называемых переходных элементов, у которых частично заполнены внутренние  $d$ -оболочки (железо, никель и т. д.), а также атомы редкоземельных элементов (европий, гадолиний и т. д.) и элементов группы урана, у которых частично заполнены внутренние  $f$ -оболочки.

Суммарный спин таких атомов может значительно превышать спин электрона. Так, у атома и двухзарядного катиона европия он в 7 раз больше. Такие большие спины, в отличие от спина электрона — величины сугубо квантовой, — можно рассматривать как классические векторы.

Естественно, чтобы кристалл был магнетиком, в его состав должны входить магнитные атомы или ионы. Между магнитными атомами в кристалле существует взаимодействие, стремящееся определенным образом сориентировать их спины по отношению друг к другу. Из-за него в направлении спинов появляется определенный порядок — ферромагнитный или антиферромагнитный. Ферромагнитный порядок возникает, когда спины всех атомов параллельны друг другу. Суммарный спин кристалла в этом случае равен произведению спина атома на их число. Отличный от нуля спин кристалла и означает существование у него самопроизвольной намагниченности.

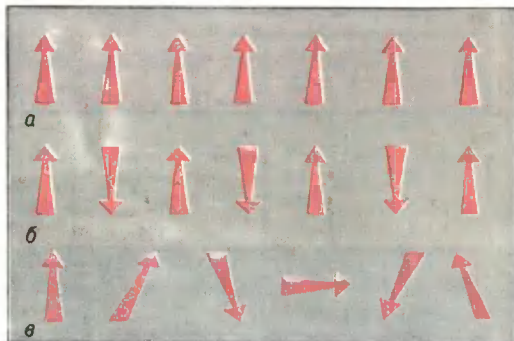
Антиферромагнитные структуры могут быть различных типов, но все они характеризуются нулевым значением суммарного спина кристалла. В простейшем случае спин каждого атома антипараллелен спину его ближайших соседей. Тогда кристаллическую решетку можно разбить на две эквивалентные подрешетки так, что два соседних атома будут принадлежать различным подрешеткам. Спины всех атомов из одной и той же подрешетки направлены одинаково, т. е. в отдельности каждая подрешетка представляет собой ферромагнетик. Антиферромагнетик в этом случае можно представить себе как два вставленных друг в друга ферромагнетика со спинами, направленными навстречу друг другу.

Возникновение магнитного упорядо-

чения, как ферромагнитного, так и антиферромагнитного, обусловлено так называемым обменным взаимодействием между магнитными атомами. Это взаимодействие есть прямое следствие принципа Паули.

Современная теория не в состоянии надежно предсказать тип магнитного упорядочения реальных кристаллов. Очень похожие друг на друга кристаллы могут иметь различные типы магнитного упорядочения.

Но какое бы магнитное упорядо-



Относительное расположение спинов атомов кристалла при ферромагнитном упорядочении (а), антиферромагнитном упорядочении (б) и в парамагнитном состоянии (в).

чение ни существовало при температурах, близких к абсолютному нулю, при достаточно высоких температурах оно оказывается разрушенным: кристалл переходит в парамагнитное состояние. Температуры разрушения ферромагнитного и антиферромагнитного упорядочения называются соответственно точкой Кюри и точкой Нееля. Чем сильнее обменное взаимодействие, тем эти температуры выше.

## ОТ ПОЛУПРОВОДНИКА ДО МЕТАЛЛА

Полупроводник отличается от металла тем, что в нем при температуре, равной нулю, нет электронов, способных принимать участие в электропроводности (носителей тока). Причина тому — необходимость затрат энергии на создание в полупроводнике носителей тока (в металле этого не требуется). Минимальная энергия, нужная для создания носителей тока в идеальном полупроводниковом кристалле, называется шириной его запрещенной зоны и обозначается  $E_g$ . Смысл этого термина становится ясным из зонной теории, которая объясняет основные свойства

полупроводников. Согласно ей, существует группа электронных состояний (валентная зона), которая при  $T=0$  полностью заполнена электронами, и другая группа (зона проводимости), которая при  $T=0$  полностью пуста. Электроны полностью заполненной валентной зоны не могут переносить ток. Состояние валентной зоны с наибольшей энергией (ее потолок) отделено от состояния зоны проводимости с наименьшей энергией (ее дно) интервалом энергий  $E_g$ , в котором никаких электронных состояний нет. Соответственно, этот

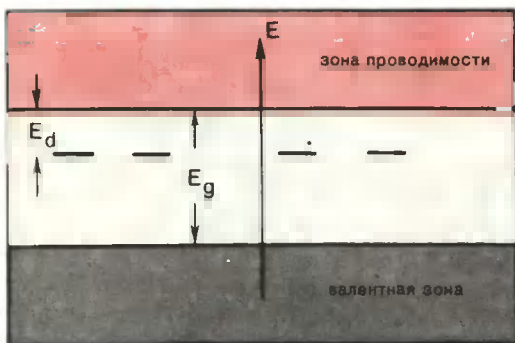


Схема электронной зонной структуры полупроводника. Валентная зона и зона проводимости разделены запрещенной зоной — щелью шириной  $E_g$ . Внутри щели находятся локальные электронные уровни примесных атомов — донорные уровни  $E_d$ .

интервал называется запрещенной зоной, или щелью. У металлов такая щель отсутствует. На перевод каждого электрона из валентной зоны в зону проводимости нужна, как минимум, энергия  $E_g$ .

Великое достоинство полупроводников, благодаря которому они и стали играть доминирующую роль в современной электронике, состоит в том, что концентрацией свободных электронов в них можно управлять в чрезвычайно широких пределах, вводя микроскопические примеси. Существуют, например, такие примесные атомы — их называют донорными, — с которых значительно проще перевести электрон в зону проводимости, чем из валентной зоны: в зонном спектре полупроводника энергетические уровни доноров лежат внутри запрещенной зоны. Из самого факта, что энергия  $E_d$  отрыва электрона от донора невелика, следует, что радиус электронной орбиты донора  $r_d$  большой: ведь  $E_d$  должна быть порядка энергии кулоновского притяжения электрона к донору, т. е.  $e^2/\epsilon r_d$ , где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость кристалла. Реально радиус  $r_d$  может в 10—

100 раз превышать постоянную решетки кристалла.

Полупроводник, как правило, может быть переведен в металлическое состояние достаточно сильным давлением, уменьшающим расстояние между атомами кристалла — при этом запрещенная зона исчезает. Но есть другой способ превратить полупроводник в металл: увеличить концентрацию ( $n$ ) примеси в кристалле, не меняя расстояния между атомами. При этом кристалл в целом металлом не становится, а происходит лишь металлизация примесных атомов: электроны становятся коллективной собственностью всех примесных атомов, не локализуясь, как прежде, каждый на своем примесном атоме. Почему это так, особенно четко видно в том предельном случае, когда расстояние между примесными атомами  $n^{-1/3}$  мало по сравнению с радиусом примесной орбиты  $r_d$ . Тогда внутри сферы радиуса  $r_d$  примесных атомов так много, что невозможно указать, какому из них принадлежит электрон.

Ясно, что металлизация примесных атомов должна происходить при такой концентрации  $n_c$ , когда среднее расстояние между примесными атомами  $n_c^{-1/3} \approx r_d$ .

Итак, при концентрациях  $n$ , превышающих  $n_c$ , в полупроводниковом кристалле реализуется так называемый примесный металл. Соответственно, полная проводимость такого сильно легированного полупроводника оказывается металлического типа (т. е. падает с ростом температуры), хотя ее величина на несколько порядков ниже проводимости обычных металлов. Как уже говорилось, радиус  $r_d$  может быть достаточно велик. Поэтому концентрации примеси, превращающие полупроводник в примесный металл, могут быть достаточно низкими — в пределах от 0,001 до 1%.

## БЫВАЮТ ЛИ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ?

Как правило, магнитные полупроводники представляют собой ионные кристаллы, в которых катионы имеют отличный от нуля спин. Например, в окиси никеля ( $NiO$ ) ионы  $Ni^{2+}$  — магнитные, и этот кристалл — типичнейший антиферромагнетик. К началу 60-х годов было обнаружено большое количество магнитных полупроводников, но ни один из этих кристаллов не был ферромагнетиком. Сложилось даже мнение, что ферромагнитные и полупроводниковые свойства по каким-то причинам несовместимы. В природе

такое бывает — например, ферромагнетизм несовместим со сверхпроводимостью. Естественных минералов — ферромагнитных полупроводников, видимо, действительно не существует. Однако в 1960 г. японским физикам удалось синтезировать первый искусственный кристалл с такими свойствами, а сейчас ферромагнитных полупроводников известно уже около сотни.

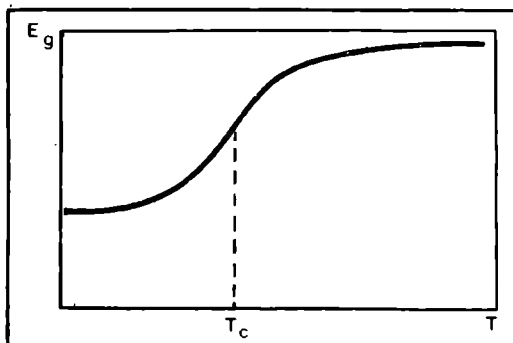
Из магнитных полупроводников, с точки зрения физика-теоретика, наиболее интересно семейство родственных друг другу кристаллов  $\text{EuO}$ ,  $\text{EuS}$ ,  $\text{EuSe}$  и  $\text{EuTe}$ . Все они имеют простую кристаллографическую структуру — как у обычной каменной соли, и в их состав входят магнитные катионы  $\text{Eu}^{++}$  с частично заполненной  $f$ -оболочкой. Чрезвычайно важно, что первые два члена этого семейства — ферромагнетики, а вторые два — антиферромагнетики. Это дает возможность, сравнивая их электрические и оптические свойства, сразу же выяснить, какое именно из этих свойств обусловлено магнитным упорядочением.

Зависимость полупроводниковых свойств от магнитного упорядочения оказалась необычной и очень сильной. Прежде всего, это проявилось в так называемом гигантском красном сдвиге края поглощения, наблюдающемся практически у всех ферромагнитных полупроводников. Существование края оптического поглощения — прямое следствие наличия щели в энергетическом спектре полупроводника. Поглощаться может только такой свет, энергия кванта которого превышает  $E_g$ .

В немагнитных полупроводниках ширина щели  $E_g$  практически не зависит от температуры. Так же обстоит дело и в типичных антиферромагнитных полупроводниках, например  $\text{EuTe}$ . Но в ферромагнитных полупроводниках оказалось все иначе: при понижении температуры щель резко сужается, что проявляется в уменьшении частоты квантов света, которые кристалл может поглощать. Но чем меньше частота, тем больше длина волны света, тем свет «красней» — оттого и название сдвига края поглощения «красный». А гигантский он оттого, что ширина щели уменьшается достаточно сильно — есть даже такие ферромагнитные полупроводники, в которых щель сужается втрое. Красный сдвиг наблюдается не только при понижении температуры, но и при включении магнитного поля, которое тоже увеличивает намагниченность кристалла. Более того, под действием магнитного поля красный сдвиг происходит и у антиферромагнитных полу-

проводников, которые этим полем намагничиваются.

В чем причина зависимости ширины щели от намагниченности кристалла? Окажется (и это характернейшая черта магнитных полупроводников), что энергия электронов проводимости зависит от магнитного упорядочения в кристалле. Вызвано это обменным взаимодействием носителей тока с магнитными катионами<sup>1</sup>. Энергия этого взаимодействия зависит от того, как ориентированы спины носителя тока и катиона по отношению друг к другу. Знак



Температурная зависимость края оптического поглощения в ферромагнитных полупроводниках. При понижении температуры происходит так называемый красный сдвиг края поглощения, причем начинается это еще до достижения точки Кюри  $T_c$ .

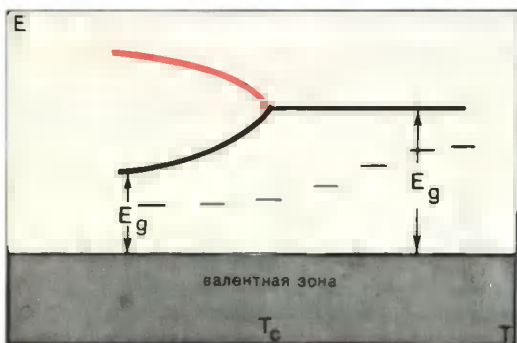
ее при параллельных спинах противоположен тому, который был бы при антипараллельных спинах.

Если ферромагнитного упорядочения в кристалле нет, то число магнитных катионов, спин которых параллелен спину носителя тока, в точности равно числу катионов, спин которых ему антипараллелен. Поэтому суммарная энергия обменного взаимодействия носителя тока с магнитными катионами кристалла в этом случае равна нулю. Если же кристалл упорядочен ферромагнитно и спины всех магнитных катионов параллельны друг другу, то энергия обмена носителя тока с ними отлична от нуля, а знак ее зависит от взаимной ориентации спинов носителя тока и катионов. Когда энергия обменного взаимодействия ниже, заранее сказать нельзя — в разных кристаллах бы-

<sup>1</sup> Во избежание недоразумений необходимо подчеркнуть, что здесь речь идет об обменном взаимодействии электронов проводимости с магнитными катионами, а не об обменном взаимодействии магнитных катионов друг с другом, о котором уже говорилось ранее.

вает по-разному. Но для нас это совершенно несущественно, так как свойства магнитных полупроводников от этого практически не зависят. Для наглядности будем считать, что энергия обмена носителя с магнитными катионами ниже при параллельной ориентации их спинов («ферромагнитное» обменное взаимодействие носителя тока с катионами).

Все это позволяет дать простое и наглядное объяснение происхождению красного сдвига края поглощения. При температуре ниже точки Кюри, когда у



Упрощенная энергетическая схема ферромагнитного полупроводника. Валентная зона слабо чувствительна к намагниченности кристалла. Зона проводимости в окрестности точки Кюри расщепляется на две спиновые подзоны — с антипараллельными спинами (цветная линия) и с параллельными спинами. Одна из них с ростом спонтанной намагниченности кристалла сдвигается вверх, а другая вниз. Ширина щели, определяемая положением дна нижней спиновой подзоны относительно потолка валентной зоны, с ростом намагниченности сужается. Этим объясняется красный сдвиг края оптического поглощения при понижении температуры. Показан также температурный сдвиг донорного уровня (пунктирная кривая). Он происходит медленнее, чем сдвиг дна зоны проводимости, так как электрон донорного атома увеличивает степень ферромагнитного упорядочения вблизи дефекта. Поэтому с ростом температуры глубина донорного уровня относительно дна зоны проводимости сначала растет, а затем падает.

ферромагнитного кристалла появляется самопроизвольная намагниченность, энергия электрона проводимости, спин которого параллелен моменту кристалла, сдвигается вниз, а энергия электрона с противоположным направлением спина — вверх. Если считать, как это часто бывает, что энергия электрона в валентной зоне слабо зависит от намагниченности кристалла, то ясно, что с понижением температуры уменьшаются затраты энергии на возбуждение электрона проводимости со спином, параллельным моменту кристалла. Но это как раз и означает, что энергетическая щель сужается. Приведенное рассуждение

несколько упрощает реальную ситуацию: согласно ему красный сдвиг должен начинаться только с точки Кюри, а на самом деле он начинается значительно выше ее. Более сложная теория объясняет и это.

## ЭЛЕКТРОН ПРОВодИМОСТИ РОЕТ СЕБЕ ЯМУ

Итак, с ферромагнитными полупроводниками при  $T=0$  как будто бы все ясно: электроны проводимости свободно двигаются по кристаллу, как и в немагнитном полупроводнике, только энергия электронов, спин которых параллелен моменту кристалла, ниже энергии тех, спин которых направлен в противоположную сторону. В антиферромагнитных полупроводниках ситуация, на первый взгляд, такая же, как в немагнитных: нет даже зависимости энергии электрона проводимости от его спина. Но тут возникает сомнение: ведь антиферромагнитное упорядочение не есть нечто «от бога». Если магнитное упорядочение в кристалле влияет на энергию электрона проводимости, то почему бы электрону, в свою очередь, не оказывать влияния на магнитное упорядочение? Разумеется, электрон — частица микроскопическая и не может изменить состояния всего кристалла макроскопических размеров. Но, может быть, ему под силу изменить магнитное упорядочение в небольшой части кристалла?

Природа экономна, когда дело касается энергии: при  $T=0$  должны осуществляться такие состояния, энергия которых минимальна. Представим себе сначала, что мы разрушили антиферромагнитное упорядочение в какой-то области кристалла радиуса  $R$ , заменив его ферромагнитным. За это нам пришлось заплатить затратой энергии обменного взаимодействия между магнитными атомами: энергия системы повысилась на величину  $E_M = N(R)E_1$ , где  $N(R)$  — полное число катионов в ферромагнитной области радиуса  $R$ ,  $E_1$  — разность энергий их обменного взаимодействия в ферромагнитном и антиферромагнитном состоянии в расчете на атом.

Представим себе теперь, что в ту же ферромагнитную область помещен электрон проводимости, спин которого параллелен моменту этой области. В этом случае обменное взаимодействие электрона проводимости с магнитными атомами понижает его энергию. Если радиус  $R$  достаточно велик, понижение энергии электрона за счет обменного взаимодействия близко по величине к красному сдвигу края

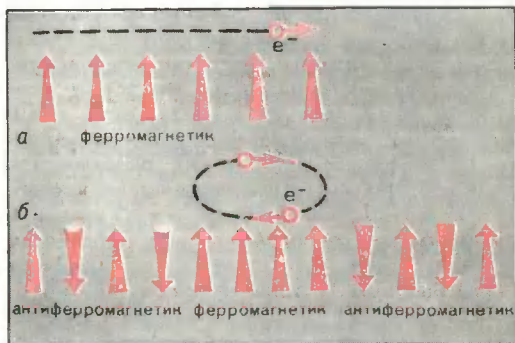
поглощения в антиферромагнетике под действием магнитного поля, устанавливающего в нем ферромагнитное упорядочение.

Согласно экспериментальным данным, величина обменного взаимодействия электрона проводимости с магнитным атомом на несколько порядков превышает  $E_f$ . Тогда понижение энергии электрона за счет этого взаимодействия может с лихвой скомпенсировать затраты энергии  $E_m$  на создание ферромагнитной области. Например, в  $\text{EuSe}$  величина красного сдвига  $E_A$  близка к 0,2 эВ, в то время как  $E_f$  составляет всего лишь 0,0001 эВ. Поэтому, если создать ферромагнитную область с числом катионов в ней  $N(R)$ , равным 1000, переход в нее электрона проводимости из антиферромагнитной части кристалла сделает эту область энергетически выгодной. Число 1000 взято здесь произвольно. На самом деле  $N(R)$  должно определяться из условия минимума полной энергии системы. При этом следует учитывать, что с уменьшением радиуса  $R$  энергия обменного взаимодействия между магнитными атомами уменьшается, но зато возрастает кинетическая энергия электрона. Действительно, согласно принципу неопределенности, электрон, имеющий неопределенность координаты  $R$ , должен иметь неопределенность импульса порядка  $\hbar/R$ . Кинетическая же энергия пропорциональна квадрату импульса и потому обратно пропорциональна  $R^2$ . Чтобы кинетическая энергия электрона не была слишком велика, ферромагнитная область, в которой он локализован, всегда должна быть достаточно большого радиуса. В типичных условиях в нее должно входить от нескольких десятков до нескольких тысяч магнитных катионов.

Итак, получается, что если в антиферромагнитном полупроводнике есть электрон проводимости, то при благоприятных параметрах кристалла электрону энергетически выгодно создать в кристалле ферромагнитную область и застрять в ней, вместо того, чтобы свободно двигаться по кристаллу. Электрон как бы роет яму, в которую сам и попадает. Такое явление названо гетерофазной автолокализацией электрона. Термин «автолокализация» означает самозахват: электрон перестает свободно двигаться по кристаллу и остается в какой-то его области (локализуется в ней) без каких-либо внешних причин, сам создавая причину для собственной локализации. А причина эта — наличие области измененного магнитного упорядочения

(иной магнитной фазы), образовавшейся внутри кристалла. Поэтому автолокализация названа гетерофазной<sup>2</sup>.

По существу, весь комплекс «электрон проводимости + область ферромагнитной фазы» представляет собой квазичастицу довольно сложной природы — она получила название «феррон». Строго говоря, феррон может передвигаться как единое целое по кристаллу, но скорость феррона столь мала, что практически его можно считать неподвижным. При повышении температуры тепловое движение



Свободное движение электрона по ферромагнитному кристаллу [а]; локализация электрона проводимости в созданной им ферромагнитной области внутри антиферромагнитного полупроводника — индивидуальное ферронное состояние [б].

спинов разрушает ферромагнитное упорядочение в области, где автолокализован электрон, и тем самым исчезает причина для самозахвата электрона. Он переходит в свободное состояние. То же самое происходит при низких температурах в достаточно сильных магнитных полях, переводящих весь кристалл в ферромагнит-

<sup>2</sup> Идея гетерофазной автолокализации носителей тока была впервые выдвинута при исследовании состояния электрона проводимости в антиферромагнитном полупроводнике (Нагаев Э. Л. — Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 6, с. 484). Последующие работы в этом направлении доказали ее возможность и в других материалах. Так, А. И. Ларкиным и Д. Е. Хмельницким была рассмотрена специфическая автолокализация фотоэлектронов в сегнетоэлектриках (ЖЭТФ, 1968, т. 55, с. 2345). Ситуация, очень похожая на автолокализацию электронов в магнетиках, возможна в твердом гелии: из-за взаимодействия со спинами ядер гелия вакансии атома гелия может создать в кристалле ферромагнитную область и локализоваться в ней (Андреев А. Ф. — Письма в ЖЭТФ, 1976, т. 24, с. 608). Гетерофазная автолокализация возможна и в других системах, но пока ее существование подтверждено экспериментально только для антиферромагнитных полупроводников.

ное состояние. Тогда в каждой точке кристалла дно зоны проводимости сдвигается вниз на максимально возможную величину, и электрон не может еще более понизить дно зоны своей локализацией в какой-то области кристалла<sup>3</sup>.

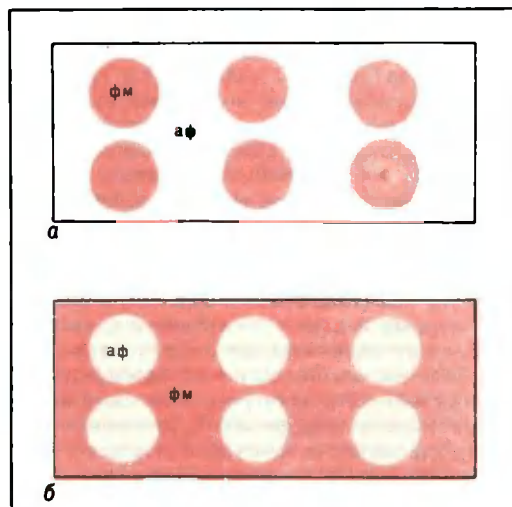
### ДВУХФАЗНЫЙ ИЗОЛЯТОР — ДВУХФАЗНЫЙ МЕТАЛЛ

Особенно интересно проявляется явление самозахвата электронов в сильно легированных антиферромагнитных полупроводниках. Как уже говорилось выше, обычные сильно легированные полупроводники ведут себя как примесный металл. Электроны проводимости, естественно, распределены в них равномерно по всему кристаллу. Иная картина имеет место в антиферромагнитных полупроводниках: электроны проводимости в них оказываются сосредоточенными в ферромагнитных областях кристалла, которые ими самими и порождены. При относительно небольших концентрациях электронов  $n$  (но, конечно, превышающих ту концентрацию, при которой происходит «коллективизация» примесных атомов) возникает примесный металл. Основная часть кристалла представляет собой небольшие ферромагнитные шарики, распределенные по нему. Высокопроводящие ферромагнитные шарики отделены друг от друга антиферромагнитными прослойками, ведущими себя как изоляторы, поскольку в антиферромагнитной части кристалла электроны проводимости не осталось — все они перешли в ферромагнитную часть. Поэтому и весь кристалл, несмотря на то что он сильно легированный, ведет себя не как примесный металл, а как изолятор.

Расчет показывает, что по мере роста полной концентрации электронов в кристалле увеличиваются как число электронов в каждом ферромагнитном шарике, так и число и размеры этих шариков. Наконец, начиная с некоторой концентрации  $n_p$ , высокопроводящие ферромагнитные шарики начинают соприкасаться друг с другом. При дальнейшем росте  $n$  основная часть кристалла становится ферромагнитной, а внутри нее располагаются изолирующие антиферромагнитные шарики, не соприкасающиеся друг с другом. Система становится высокопроводящей, так как электроны могут теперь свободно двигаться от одного конца кристалла до другого по его ферромагнитной части, об-

ходя изолирующие антиферромагнитные шарики. Таким образом, при концентрациях, превышающих  $n_p$ , электронные свойства сильно легированного антиферромагнитного полупроводника сходны со свойствами обычного сильно легированного полупроводника.

Совершенно необычен тот факт, что в рассматриваемом случае однородный кристалл находится в неоднородном состоянии с чередующимися друг с другом областями ферромагнитной и антиферромагнитной фаз. Нормально однородный



Коллективное ферромагнитное состояние сильно легированного антиферромагнитного полупроводника. При концентрациях электронов проводимости ниже  $n_p$  [так называемой концентрации протекания] осуществляется изолирующее состояние (а), когда ферромагнитные области, в которых сосредоточены все электроны проводимости (эти области на рисунке закрашены), отделены друг от друга изолирующими антиферромагнитными областями. При концентрациях выше  $n_p$  полупроводник находится в высокопроводящем состоянии (б).

кристалл должен был бы находиться в однородном состоянии и, стало быть, представлять собой либо ферромагнетик, либо антиферромагнетик. Неоднородное состояние сильно легированного антиферромагнитного полупроводника можно назвать коллективным ферроном, поскольку оно возникает в результате совместной автолокализации всех электронов проводимости кристалла одновременно. (В предыдущем разделе мы обсуждали случай, когда каждый электрон локализуется независимо от остальных.)

Как и индивидуальные ферроны, коллективные ферроны могут быть разруше-

<sup>3</sup> Кашин В. А., Нагаев Э. Л. — ЖЭТФ, 1974, т. 66, с. 2105.



ны внешним магнитным полем или увеличением температуры. При концентрациях, меньших  $p_p$ , разрушение ферронов должно приводить к скачкообразному переходу кристалла из изолирующего в высокопроводящее состояние. Действительно, если весь кристалл перешел в ферромагнитное состояние под действием магнитного поля, то электроны проводимости, ранее запертые в несоприкасающиеся друг с другом ферромагнитные шарики, теперь расплываются по всему кристаллу, заполняя те области, которые до включения поля находились в изолирующем антиферромагнитном состоянии. В результате все области кристалла становятся высокопроводящими.

Увеличение температуры, которое разрушает магнитное упорядочение, тоже приводит к скачку проводимости: в отсутствие магнитного упорядочения весь кристалл однороден и электроны проводимости равномерно распределены по нему. При концентрациях, превышающих  $p_p$ , когда большая часть кристалла ферромагнитна и он уже сам по себе находится в высокопроводящем состоянии, разрушение ферронов за счет магнитного поля или увеличения температуры приводит лишь к относительно небольшому уменьшению сопротивления кристалла.

### ЭКСПЕРИМЕНТ ГОВОРИТ ФЕРРОНАМ «ДА»

Хотя ферроны были вначале предсказаны теоретически, проведенные затем экспериментальные исследования позволяют утверждать, что они — реально существующие объекты.

Первое экспериментальное подтверждение существования ферронов было получено швейцарским физиком П. Вахтером<sup>4</sup>. Он освещал антиферромагнитные полупроводники  $\text{EuSe}$  и  $\text{EuTe}$  светом подходящей длины волны, в результате чего в этих кристаллах появились носители тока — фотоэлектроны и фотодырки. Фотоэлектроны из зоны проводимости стремятся перейти обратно в валентную зону, заполнив пустующее в ней состояние. Энергия, освобождающаяся при таком процессе (его называют рекомбинацией), может быть передана фотону, т. е. кристалл, возбужденный светом, сам начинает испускать свет — люминесцировать.

Вахтер обнаружил, что люминесценция в этих кристаллах очень сильная.

Обычно так обстоит дело, когда носитель тока, прежде чем рекомбинировать, переходит из свободного в локализованное состояние, например захватывается дефектом кристалла. Но здесь причиной сильной люминесценции были явно не дефекты: при очистке кристалла от них люминесценция не ослабевала. Но зато это происходило в сильном магнитном поле, переводящем кристалл в ферромагнитное состояние. Одновременно резко возрастала проводимость кристалла. Естественное объяснение этому — перед рекомбинацией происходил самозахват электрона ферромагнитной областью, в результате чего он оказывался локализованным. Такой локализованный электрон не принимает участия в проводимости, но охотно заполняет пустующее в валентной зоне состояние. Включение поля разрушает ферроны. Освободившиеся электроны дают большой вклад в проводимость, но зато их переходы в валентную зону затруднены.

Еще более четкие доказательства существования ферронов были получены американским физиком И. Шапирой<sup>5</sup> на сильно легированных кристаллах  $\text{EuSe}$ , которые в отсутствие электронов, как уже указывалось, антиферромагнитны.

Прежде всего магнитные измерения показали, что в исследованных им образцах сосуществуют ферромагнитная и антиферромагнитная фазы. Объем ферромагнитной фазы тем больше, чем выше концентрация электронов проводимости. Очень важно, что точка Нееля антиферромагнитной части этих образцов оказалась точно такой же, как у чистых кристаллов  $\text{EuSe}$ . Это означает, что в антиферромагнитной части кристалла нет электронов проводимости — иначе бы они сильно понизили ее точку Нееля. (Вспомним, что энергия электронов проводимости в ферромагнитном состоянии ниже, чем в антиферромагнитном, поэтому электроны стремятся разрушить антиферромагнитное упорядочение и установить ферромагнитное, что проявляется в понижении точки Нееля.) Тот факт, что все электроны проводимости сосредоточены в ферромагнитной части кристалла, подтверждается изолирующим состоянием образцов с малым объемом ферромагнитной части при температуре жидкого гелия (этот объем определяется экспериментально с помощью магнитных измерений). В то же время образцы, в которых объем ферромагнитной части пре-

<sup>4</sup> Wachter, P. — CRC Crit. Rev. in Sol. St. Sci., 1972, v. 3, p. 189.

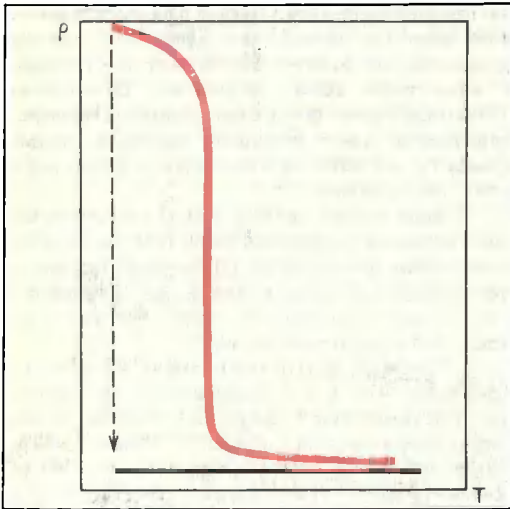
<sup>5</sup> Shapira Y., Foner S., Oliveira N. Jr. — Phys. Rev. B, 1974, v. 10, p. 4765.

вышал объем антиферромагнитной, имели высокую проводимость, типичную для сильно легированных полупроводников. Все это подтверждает картину двухфазного состояния вырожденных антиферромагнитных полупроводников.

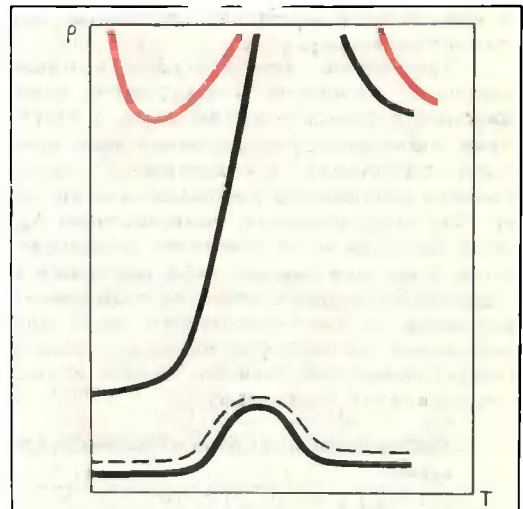
При повышении температуры, когда разрушается ферромагнитное упорядочение, те образцы, которые были изолирующими, резко переходят в высокопроводящее состояние. Сопротивление некоторых из них падает при этом в 10 млрд раз. Такое же гигантское падение сопротивления

## И СНОВА О ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Поскольку до сих пор речь шла в основном об антиферромагнитных полупроводниках, у читателя могло создаться совершенно неверное представление, будто все интригующие свойства ферромагнитных полупроводников исчерпываются гигантским красным сдвигом края поглощения. На самом же деле свойства ферромагнитных полупроводников значительно разнообразнее. Начать хотя бы с того, что



Ход температурной зависимости сопротивления сильно легированных полупроводников. Цветная линия соответствует образцу с концентрацией доноров ниже концентрации протекания  $p_p$  — при понижении температуры он переходит в изолирующее состояние, которое может быть разрушено магнитным полем (падение сопротивления в этом случае показано пунктирной стрелкой; для  $\text{EuSe}$  оно меняется от  $10^8$  до  $10^{-2}$  Ом/см). Сопротивление образца с концентрацией доноров выше  $p_p$  при всех температурах постоянно — образец остается высокопроводящим (для  $\text{EuSe}$   $\rho \approx 10^{-2}$  Ом/см).



Ход температурной зависимости сопротивления легированных ферромагнитных полупроводников. Цветные линии соответствуют образцу с концентрацией доноров ниже концентрации  $p_c$  образования примесного металла. Черные линии описывают изменение сопротивления образца с концентрацией немного выше  $p_c$ : при повышении температуры он переходит из высокопроводящего в изолирующее состояние. Если в образце концентрация доноров немного выше  $p_c$ , то при всех температурах он остается в высокопроводящем состоянии — пунктирная кривая.

происходит при гелиевых температурах в относительно небольшом поле — как раз таком, которого достаточно для установления в  $\text{EuSe}$  ферромагнитного упорядочения. Таким образом, все качественные закономерности, предсказанные теорией, подтверждены экспериментально. Более того, теория позволяет рассчитать количественно объем ферромагнитной части кристалла в зависимости от концентрации электронов, и полученные из расчета результаты хорошо согласуются с экспериментальными.

в ферромагнетиках тоже возможны ферронные состояния, но только при достаточно высоких температурах, когда ферромагнитное упорядочение в значительной мере или даже полностью разрушено. Тогда абсолютно по тем же причинам, что в антиферромагнетике, в ферромагнетике тоже, в принципе, возможен самозахват электрона проводимости областью с высокой степенью ферромагнитного порядка. Детальный анализ показывает, однако, что условия самозахвата в ферромагнитных полупроводниках выполнить очень трудно. И

действительно, в очень совершенных кристаллах, где крайне мало дефектов, самозахват пока не наблюдался. Однако тенденция к самозахвату существенно влияет на свойства ферромагнитных кристаллов с дефектами, приводя к необычной температурной зависимости их сопротивления.

В слабо легированных немагнитных полупроводниках проводимость монотонно растет с температурой пропорционально  $e^{-E_d/2kT}$ , где  $E_d$  — глубина донорного уровня. В ферромагнитных же полупроводниках с повышением температуры она сначала тоже растет, но затем начинает падать, причем в районе точки Кюри имеет резкий минимум, после которого вновь начинается экспоненциальный рост. Относительная глубина этого минимума сильно зависит от концентрации примеси и может достигать нескольких порядков. Магнитное поле существенно уменьшает глубину этого минимума и может даже вообще его уничтожить, причем зависимость проводимости ферромагнитных полупроводников от магнитного поля гораздо более сильно выражена, чем у металлов.

Еще более интересное поведение наблюдалось у сильно легированных ферромагнитных полупроводников  $\text{EuO}$  в определенном интервале концентраций примеси<sup>6</sup>. При  $T=0$  они ведут себя, как положено нормальным сильно легированным полупроводникам, т. е. являются примесными металлами. Однако при повышении температуры еще до достижения точки Кюри эти образцы практически скачком переходят из высокопроводящего в изолирующее состояние с увеличением сопротивления ни мало, ни много как на 15—17 порядков. Изоляторами они остаются вплоть до самых высоких температур и во всех достижимых сейчас магнитных полях. Аналогичное явление наблюдали в других ферромагнитных полупроводниках К. П. Белов и Л. И. Королева. Они же установили другое интересное свойство ферромагнитных полупроводников с дефектами: их фотопроводимость в районе точки Кюри имеет очень глубокий минимум<sup>7</sup>.

Аномалии электропроводности ферромагнитных полупроводников можно объяснить, если заметить, что электрон до-

нора стремится поддержать ферромагнитное упорядочение в той области, где он локализован. Поэтому при подъеме температуры упорядочение в окрестности донора разрушается медленнее, чем в среднем по кристаллу. Но при разрушении ферромагнитного порядка электронные уровни ползут вверх — об этом мы говорили при обсуждении красного сдвига края поглощения. Отсюда следует, что дно зоны проводимости сдвигается быстрее, чем донорный уровень, т. е. его глубина по отношению ко дну зоны проводимости растет с температурой. В слабо легированных полупроводниках это приводит сначала к замедлению роста проводимости с температурой по сравнению с простым экспоненциальным законом, а затем и к ее падению. Но после того как в окрестности доноров начинает разрушаться ферромагнитное упорядочение, проводимость вновь растет с температурой.

Что же касается превращения примесного металла в изолятор, то для его качественного объяснения достаточно заметить, что рост глубины донорного уровня с температурой означает усиление связи электрона с примесным атомом, т. е. уменьшение радиуса электронной орбиты  $r_d$ . Но когда  $r_d$  мал по сравнению со средним расстоянием между примесными атомами, примесный металл существовать не может: каждый из электронов превращается в локализованный на своем донорном атоме.

Превращение примесного металла в изолятор возможно только в очень узком интервале концентраций электронов проводимости. Если концентрация выше, то при всех температурах кристалл ведет себя как примесный металл, хотя и обнаруживает пик сопротивления в районе точки Кюри. Но высота этого пика с ростом концентрации падает. Таким образом, при всех температурах электроны проводимости остаются свободно движущимися по кристаллу.

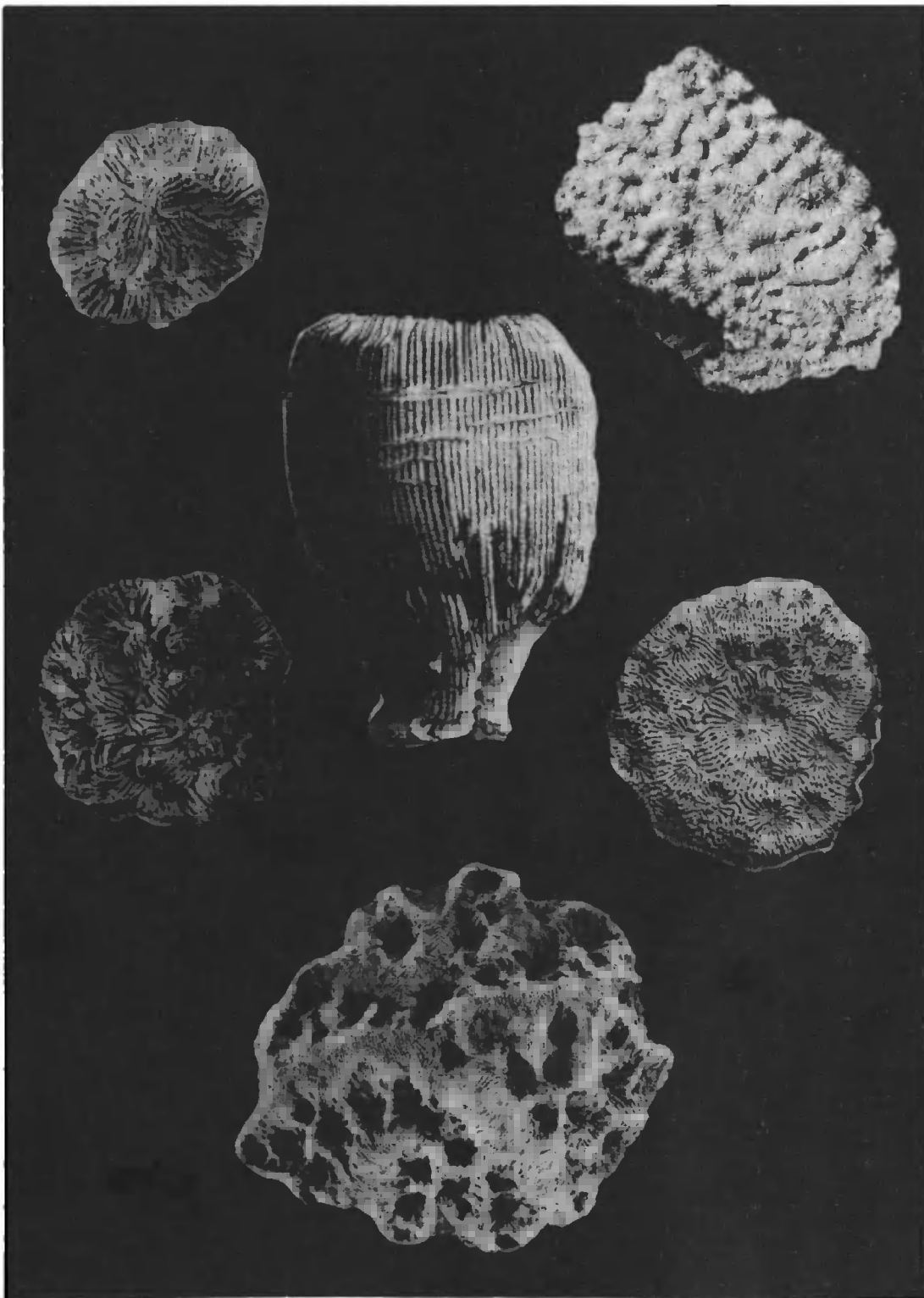
В этой статье рассказано далеко не обо всех уникальных свойствах магнитных полупроводников. Но и сказанного достаточно, чтобы понять, насколько они интересны. Дело теперь за инженерами, которые могли бы использовать эти свойства в технических устройствах.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Нагаев Э. Л. ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ. М.: Наука, 1979.

<sup>6</sup> Oliver M., Kafalas J., Dimmock J., Reed T. — Phys. Rev. Lett., 1970, v. 24, p. 1064.

<sup>7</sup> Белов К. П., Третьяков Ю. Д., Гордеев И. В., Королева Л. И., Кеслер Я. А. Магнитные полупроводники — полупроводниковые шпинели. М., 1981.



## Кораллы как «геологические часы»

Е. И. Кузьмичева



Елена Ивановна Кузьмичева, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры палеонтология геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист по современным и ископаемым кораллам.

Коралловые полипы или просто кораллы — обширный класс морских организмов, существующих около 500 млн лет (достоверно — с ордовикского периода палеозойской эры). Интерес к этим животным возник еще в древности. А после знаменитого путешествия Ч. Дарвина на корабле «Бигль» кораллами, современными и вымершими, занялись специалисты-биологи. Кораллы привлекли их внимание как создатели разнообразных по форме и размерам органогенных образований — биостромов, биогермов, рифов, а также как индикаторы мелководных условий жизни в открытых тропических и субтропических морях.

Во второй половине нашего столетия естествоиспытатели самого широкого профиля заинтересовались теми особенностями роста кораллов и других беспозвоночных, которые позволяют использовать их в качестве «геологических часов». Было

замечено, что суточные колебания (день—ночь), фиксируемые в нарастании скелета ныне живущих кораллов, соответствуют длительности суток современного года. Следовательно, изучение вымерших кораллов могло бы помочь установить продолжительность суток в предшествующие геологические эпохи. Эти сведения чрезвычайно важны для геофизиков и геологов-тектонистов, так как позволяют проверить основанные на астрономических расчетах представления о постепенном расширении нашей планеты и уменьшении скорости ее вращения на протяжении геологической истории<sup>1</sup>.

### ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОРАЛЛОВ

Поскольку настоящая статья посвящена возможности использования кораллов в качестве «геологических часов», вкратце остановимся на строении мягкого тела и особенностях скелета этих организмов.

Как известно, тело кораллового полипа представляет собой двухслойный мешок, открывающийся наружу ротовым отверстием. Рот окружен многочисленными щупальцами, служащими для захвата пи-

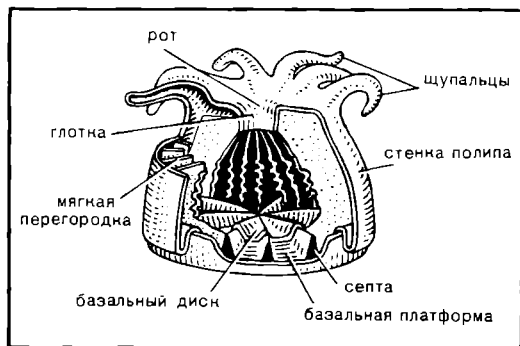
Представители ископаемых кораллов. Одиночный коралл *Montlivaltia crassisepta* из верхнеюрских отложений Горного Крыма (вид сбоку) окружен массивными колониями кораллов *Dimorphosmia* sp., *Dimorphocoenia magna*, *Monocyclastraea alpina*, *Dimorphocoenia solomkoeae*, *Dimorphastraea excavata* из нижнемеловых отложений Горного Крыма (вид сверху).

<sup>1</sup> Милановский Е. Е. Расширяющаяся и пульсирующая Земля.— Природа, 1982, № 6.

щи. Внутри полости полипа имеются мягкие радиальные перегородки в виде выростов его внутренней стенки. В эпителии перегородок находятся пищеварительные, половые и стрекательные клетки.

В наружном слое нижней части тела полипа есть особые клетки — каликобласты, которые выделяют карбонат кальция. Из него и складывается сплошной или пористый скелет полипа, служащий опорой и защитой мягкому телу.

Основными элементами скелета ко-



Строение мягкого тела и скелета одиночного коралла.

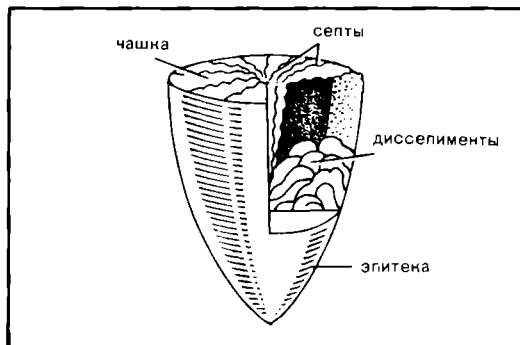


Схема строения скелета одиночного коралла.

раллового полипа (это хорошо видно на рисунке) являются: базальное основание; стенка — тека; радиальные образования — септы и располагающиеся между ними диссепименты и синаптикулы; в осевой части многих кораллов находится столбик, образуемый слившимися внутренними краями септ. Стенка скелета устроена также слож-

но. В ней различают внутренние образования (септотеку, синаптикулотеку и др.) и наружное — эпитеку.

Эпитека — тонкий морщинистый покров скелета, представляющий собой продолжение базального диска, возникающего в месте прикрепления личинки коралла к субстрату<sup>2</sup>. У одних групп мезозойских и кайнозойских кораллов эпитека не является самостоятельным скелетным элементом и связана происхождением с внутренними скелетными образованиями, у других кораллов она формирует особый наружный покров скелета — септальную стереому.

Строение эпитеки довольно сложно. Она состоит из ритмически чередующихся видимых невооруженным глазом лентовидных колец, внутри которых располагаются многочисленные очень тонкие (доли миллиметра) «струйки». Они различимы лишь под микроскопом.

Кораллы делятся на одиночные и колониальные. Скелет одиночных кораллов имеет обычно коническую, куполовидную или цилиндрическую форму. Колониальные кораллы, среди которых различают кустистые и массивные, очень разнообразны по форме и размерам.

Колонии кораллов, как и других колониальных организмов, — в высшей степени интересные жизненные формы. Они представляют собой сообщества морфологически и физиологически связанных между собой особей. Те красивые и разнообразные по цвету образования, которые обычно именуют кораллами, есть не что иное, как скелетные вместилища коралловых полипов.

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА КОРАЛЛОВ

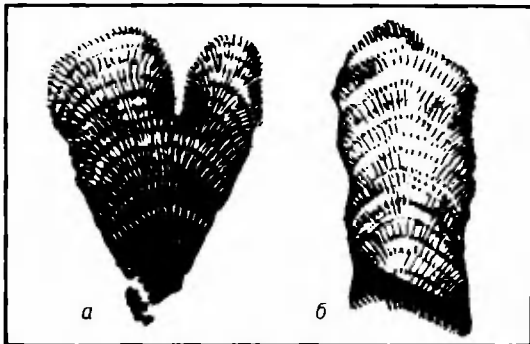
Еще в конце XIX в. английский натуралист Р. Уилтфилд заметил правильное волнистое чередование изгибов поверхности кораллов *Acropora palmata* и объяснил это чередование сезонными изменениями температуры воды. Тем не менее должно было пройти 30—40 лет, чтобы появились новые работы в этом направлении. Их успех связан с применением электронной микроскопии, рентгеновского и других физико-химических методов. Возникла даже теория биоминерализации, объясняющая механизм формирования скелета.

<sup>2</sup> Аналогичный скелетный покров у колониальных кораллов назван голотеккой.

Этот подход привел к выяснению роли симбионта кораллов — одноклеточных жгутиковых водорослей зооксантелл — как стимуляторов роста современных колониальных шестилучевых кораллов склерактиний. Американский зоолог Т. Горо, изучавший с помощью радиоактивного изотопа углерода выделение кораллами карбоната кальция, обнаружил в конце 50-х годов прямую зависимость между скоростью роста кораллового скелета и фотосинтезом зооксантелл. Оказалось, что при дневном освещении скелетное вещество

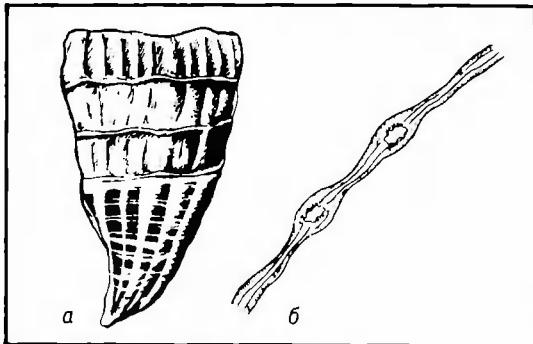
Барнз вместе с тем показал, что избыток освещения тормозит и даже приостанавливает выделение карбоната кальция, тогда как там, где этого избытка нет, выполняющие эту функцию клетки-каликобласты продолжают увеличиваться в числе.

В настоящее время известно, что скорость роста кораллов зависит не только от суточных изменений освещенности и температурного режима в разные сезоны, но и от видовых особенностей кораллов и особенностей среды (повышения динамики водных масс, резкого изменения интенсив-



Септальные пластины колониального коралла *Montastraea annularis* с а-ва Барбадос в Атлантическом океане:

а — современный экземпляр, б — ископаемый (древнеголоценовый). Видны ритмично чередующиеся темные и светлые полосы годового прироста скелета. Темные полосы соответствуют зимнему сезону, светлые — летнему.



Кольца восьмилучевого коралла *Eriphaxum alliporoides* на скелете одиночного коралла *Milotrochus excavatus*, жившего в маастрихтском веке позднемеловой эпохи на территории Прикаспийской впадины (а); лентовидная стелющаяся колония восьмилучевого коралла (б).

отлагается в девять раз быстрее, чем ночью. Кроме того, стало известно, что зооксантеллы вырабатывают вещество, которое контролирует выделение и формирование минеральной составляющей скелета кораллов. Показательно, что у кораллов, лишенных симбиоза с зооксантеллами, менее интенсивен обмен веществ и, соответственно, меньше скорость роста колоний.

Довольно стройную теорию роста кораллов в 70-е годы выдвинул английский зоолог Д. Барнз. По его представлениям, мягкие ткани и скелет этих организмов растут независимо друг от друга, причем рост мягких тканей связан с поступлением пищи, а рост скелета — с интенсивностью солнечного освещения. Непосредственно не зависящие друг от друга факторы пищи и освещенности дна косвенно связаны друг с другом: изменение одного компенсируется изменениями другого.

Признавая важную роль солнечного света в образовании скелета кораллов,

ности накопления осадков и пр.). Так, кустистые колонии современных склерактиний, находясь в нормальных условиях существования, увеличивают длину своих побегов на 10—30 см в год, тогда как прирост колоний массивных кораллов составляет 2,5—3 см в год, а одиночные формы вырастают на 5—8 см в год. Замедление роста полипов с возрастом обусловлено спадом их энергетических ресурсов. Поскольку клетки-каликобласты, несмотря на уменьшение роста тканей, продолжают выделять карбонатное вещество с прежней интенсивностью, на «старческой» стадии роста наступает утолщение всех скелетных элементов.

#### РИТМЫ РОСТА КОРАЛЛОВ

Ритмичность в росте скелета кораллов хорошо прослеживается в продольных срезах колоний и отдельных септ в виде чередования темных и светлых полос, харак-

теризующихся различной плотностью карбонатного вещества. Эту полосчатость принято связывать со сменой сезонов. Каждый годичный цикл роста включает одну темную и одну светлую полосу шириной от 2—3 до 5—6 мм. Разная ширина полос вызвана, по-видимому, не только условиями обитания коралловых полипов и их видовой принадлежностью, но и индивидуальными особенностями<sup>3</sup>.

Принадлежность темных и светлых полос к тому или иному сезону года трактуется неоднозначно. Большинство исследова-



Одиночный нижнемеловой коралл *Montlivaltia crinita*, целиком покрытый эпитекой; (выделен годичный прирост известковых «струек» эпитеки).

дователей полагает, что темные полосы соответствуют зиме, а светлые — лету.

Представляет интерес связь между составом организмов-эпибионтов, обитающих на колониях кораллов, особенностями их размещения на этих колониях и сезонностью роста эпибионтов. Так, в 1980 г. Е. М. Парталы были проведены наблюдения над эпибионтами гидроидных полипов *Perigonimus megas*, обитающими в Азовском море. Было замечено, что 15 видов эпибионтов живут на колониях этих полипов круглогодично, два вида — весной и летом, один — исключительно летом, а один — зимой.

На одиночных склерактиниях *Smilatrochus excavatus* из маастрихтского яруса Прикаспийской впадины нам удалось обнаружить их прижизненных эпибионтов — восьмилучевых кораллов *Eriphaxum alporoides*, ритмично (с интервалом 3,5—5 мм) окружающих лентовидными колониями краевую чашечную зону коралла.

Особенно явственно ритмичность роста прослеживается в строении эпитеки палеозойских кораллов ругоз, а также мезозойских и кайнозойских склерактиний. Результаты именно этих исследований привели к идее «геологических часов».

Выше уже было сказано, что эпитека включает ритмически чередующиеся лентовидные кольца, слагающиеся из многочисленных микроскопических «струек». Лентовидные кольца эпитеки — это своего рода годовые кольца, возникшие в результате смены сезонов. Иначе говоря, они являются прямыми аналогами темных и светлых полос в скелетном веществе одиночных и колониальных форм. Детальные исследования «струек» показывают, что и они имеют неодинаковую толщину, которая отражает прежде всего реакцию полипов на смену солнечного освещения лунным. При солнечном освещении полип поглощает из воды карбонат кальция значительно интенсивнее, чем при свете луны, и «струи-ки», отвечающие дневным фазам роста эпитеки, развиты лучше.

Хотя в тропиках различия температур летнего и зимнего периодов далеко не так контрастны, как в средних широтах, смена сезонов здесь сказывается в большей засушливости летних и большей влажности зимних месяцев, что, в свою очередь, влияет на рост эпитеки (голотеки) и скелета кораллов в целом.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА ЭПИТЕКИ

Было бы ошибкой считать, что эпитека и голотека развиваются исключительно под влиянием рассмотренных выше факторов. Ни различиями температурного режима, ни изменениями освещенности нельзя объяснить многие особенности их развития. Так, мы не находим однозначного ответа на вопрос, почему у ряда видов и родов кораллов эти структуры развиты, а у других форм отсутствуют. Неясно также, по какой причине у одних особей данного вида эпитека присутствует в течение всей жизни, тогда как у других она возникала лишь на некоторых ее этапах, а у третьих представлена узкими кольцами или вообще отсутствует, хотя все формы кораллов жили совместно.

Пытаясь разобраться в этом, одни специалисты ссылаются исключительно на внешнюю среду (например, поступление листового материала), другие выдвигают на первый план физиологические особенности организмов, а вот некоторые новые

<sup>3</sup> Нужно отметить, что среди изученных нами раннемеловых кораллов были встречены формы, лишенные описываемых полос.

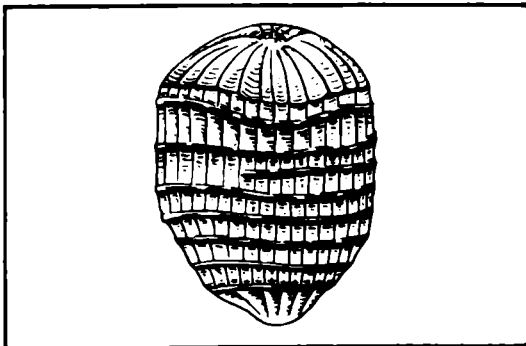


данные, полученные нами при изучении одиночных склерактиний (монтливальтий) из верхнеюрских и нижнемеловых отложений Горного Крыма.

Из 240 хорошо сохранившихся экземпляров *Montlivaltia crimea* из песчано-глинистых сублиторальных отложений берриасского яруса Центрального Крыма 81 экземпляр имеет эпитеку, развитую на всей поверхности, у 142 экземпляров она прерывистая, а 18 экземпляров совсем лишены эпитеки. Иное положение с кораллами вида *Paramontlivaltia valanginensis*, приуро-

зает. В течение дальнейшего роста возникает ритмичное чередование промежутков, занятых эпитекой (2—6 мм) и лишенных ее (3—20 мм), либо эпитека вообще исчезает.

Вторую группу образуют рогообразные экземпляры, эпитека которых обычно развита неодинаково на выпуклой и вогнутой сторонах. Чаще она оказывается сплошной, более толстой и морщинистой на вогнутой поверхности коралла, прерывистой и тонкой — на выпуклой поверхности. Подобное нарушение в эпитекальном пок-

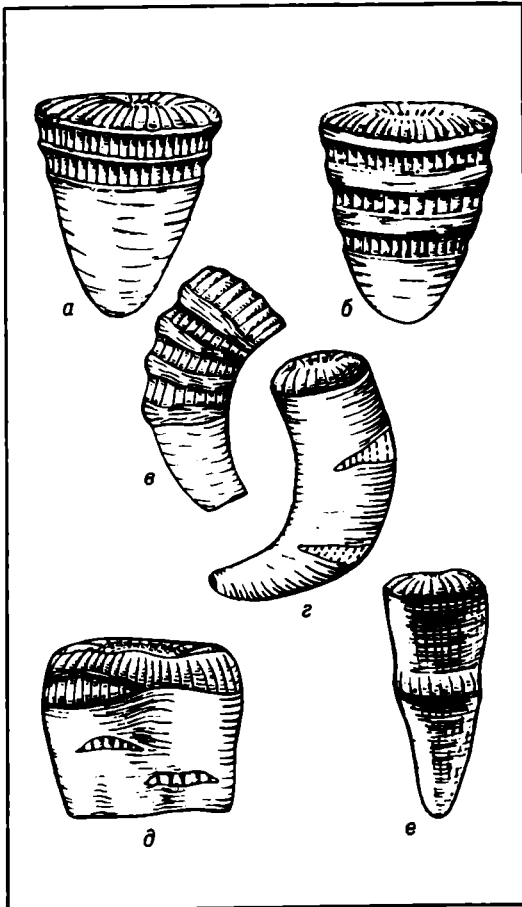


Ритмичное расположение эпитеки на одиночном коралле вида *Montlivaltia crassa septa* из верхнеюрских отложений Горного Крыма. Ритмичность обусловлена сменой сезонов. Участки с эпитекальными «струями» соответствуют зимнему сезону, во время которого рост полипа замедляется, а участки, лишенные эпитеки, — летнему сезону с ускоренным ростом.

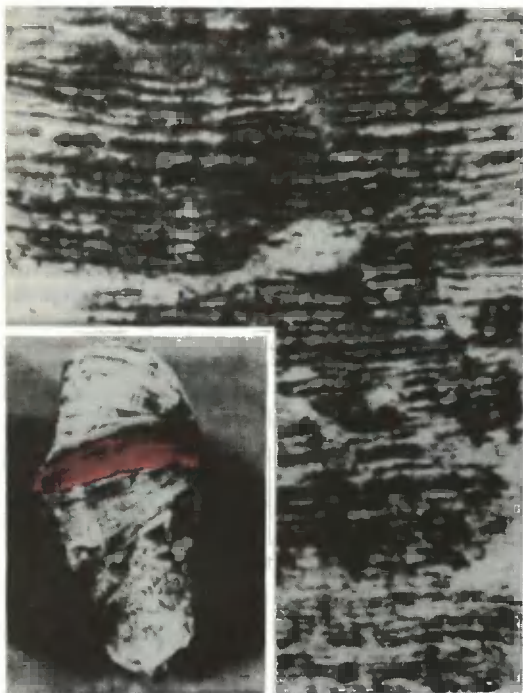
ченными к тем же отложениям. Из 150 экземпляров этого вида 148 характеризуются полностью развитым эпитекальным покровом и только у 2 экземпляров он отсутствует. Отсюда следует, что различные виды кораллов по-разному реагируют на сходные условия среды в силу своих индивидуальных физиологических особенностей.

Посмотрим теперь, как распределяется эпитекальный покров у тех 142 экземпляров *Montlivaltia crimea*, которые обладают прерывистой оболочкой. По особенностям развития эпитеки их можно разделить на четыре группы.

К первой группе следует отнести прямые и слабо изогнутые одиночные кораллы, у которых на ранних стадиях роста (10—12 мм от основания) эпитека всегда присутствует; затем тело коралла резко сужается, а эпитека в этом интервале (обычно 1—4 мм) становится тоньше или исче-



Различное расположение известкового эпитекального покрова на одиночных колониях вида *Montlivaltia crimea* из нижнемеловых отложений Горного Крыма. Различия обусловлены либо конкретными условиями обитания и особенностями самих организмов (а, б, в), либо искривлением коралла в процессе роста (г) и травмами (д), либо остановками в росте, причина которых не ясна (е).



Увеличенные эпитекальные «струйки» среднедевонского одиночного коралла *Syathophyllum helianthoides*, по которым Дж. Уэллс подсчитал, что продолжительность года в девоне составляла 400 дней, и общий вид этого коралла (выделено кольцо годового прироста эпитеки).

рове обусловлено, надо полагать, ускоренным ростом организма на выпуклой стороне.

Третья группа включает единичные экземпляры, в поле сплошного развития эпитеки которых неожиданно появляются участки, где она отсутствует. Мы связываем это явление с травматическим повреждением полипов.

Наконец, к четвертой группе мы относим кораллы, у которых отсутствие эпитеки связано с «омолаживанием». Это явление состоит в кратковременных и неупорядоченных остановках роста кораллов, причины которых остаются неясными.

Особого внимания заслуживают изменения роста эпитеки у кораллов первой группы. При изучении этих кораллов в шлифах удалось подметить, что наличие эпитеки, как правило, сопровождается некоторым увеличением толщины септ и диссепиментов, т. е. общим утолщением скелета.

Но как на развитие эпитеки влияют условия среды?

Нарушения целостности эпитекального покрова особенно широко распространены у монтливалтий, приуроченных к илистым грунтам. Большая часть изученных нами позднеюрских и раннемеловых монтливалтий характеризуется прерывистым эпитекальным покровом, а некоторые из них вообще его лишены. Так, у позднеюрских монтливалтий Крыма и Западной Европы преобладают ритмично повторяющиеся эпитекальные полосы шириною от 1—2 до 4—6 мм. Указанная общность в развитии эпитеки обусловлена, по-видимому, сходством обстановки обитания: относительно большей глубиной морского бассейна и малым количеством зооксантелл, способствующих, как известно, процессу поглощения  $\text{CaCO}_3$  из воды.

### ЭПИТЕКА КАК «ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ»

Ну а теперь мы подошли к конечной цели нашего рассказа. Первым мысль об использовании эпитеки в качестве «геологических часов» высказал американский палеонтолог Дж. Уэллс, изучавший с помощью рентгенографического и радиографического методов ее строение у ругоз *Syathophyllum helianthoides* из среднедевонских отложений штата Нью-Йорк (США) и провинции Онтарио (Канада).<sup>4</sup> Он подсчитал, что продолжительность года в среднем девоне, если верить кораллам, составляла 400 дней. Аналогичные исследования голотеки современного коралла *Marisina areolata*, взятого Уэллсом для сравнения, показали, что в кольцо его годового прироста уместается 360 «струек» шириной 7—10 мм<sup>5</sup>. Месячный прирост этой колонии составляет 0,2—0,4 мм, а дневной — 0,01—0,02 мм.

Несколько позже с применением этой же методики К. Скраттон изучал позднекаменноугольные ругозы<sup>6</sup>. Согласно его наблюдениям, продолжительность года в конце каменноугольного периода составляла 385—390 дней. Наконец, в недавно опубликованной работе французских палеонтологов Л. Бовэ и Дж. Шевалье содержатся результаты подсчета продолжительности года в раннетриасовую эпоху, осно-

<sup>4</sup> Wells J. W.— Nature, 1963, v. 197, № 4871, p. 948.

<sup>5</sup> Это почти совпадает с астрономической длиной современного года — 365,25... сут.

<sup>6</sup> Scrutton C. T.— Palaeontology, 1965, v. 7, № 4, p. 552.

Таблица

## Продолжительность года в разные геологические эпохи

Геологические эпохи (млн лет назад)	Продолжительность года (дни)	Автор, год
Современная	360	Уэллс, 1963
Раннетриасовая (220—230)	380	Бовэ, Шевалье, 1980
Позднекаменноугольная (285—310)	385—390	Скраттон, 1965 Уэллс, 1963;
Среднедевонская (370—385)	400	Скраттон, 1965

ванные на изучении нескольких видов одиночных и колониальных склерактиний<sup>7</sup>. Результаты всех известных исследований в области «склерохронологии» приведены в таблице.

Эти данные, отражающие определенную продолжительность года, можно связать с последовательным уменьшением скорости вращения Земли. Скраттон писал: «Мало вероятно, чтобы в те времена (девонский и каменноугольный периоды.— Е. К.) год, т. е. пробог Земли вокруг Солнца, длился дольше. Вероятнее всего, сами сутки были короче. Так подтверждается давно подмеченное геофизиками постепенное замедление вращения Земли — следствие приливного взаимодействия между нашей планетой и Луной»<sup>8</sup>.

В настоящее время на этот счет существуют и другие мнения; в частности, некоторые исследователи полагают, что изменение скорости вращения Земли объясняется не влиянием Луны, а увеличением объема Земли. Однако эти вопросы находятся вне нашей компетенции.

Приведенные рассуждения, несомненно, очень заманчивы, особенно для специалистов в области геотектоники, разделяющих точку зрения об уменьшении скорости вращения Земли. Тем не менее относиться к данной гипотезе нужно с большой осторожностью. Во-первых, к этому обязывает сложность методики подсчетов дневных и ночных «струек» эпитеки, а также немногочисленность фактического материала — весьма продолжительные промежутки геологического времени (ранний палеозой, почти весь мезозой и кайнозой) пока не изучены палеонтологами с точки зрения «геологических часов». Во-вторых, и это тоже важно, мы не рас-

полагаем сегодня точными знаниями о всех факторах, влияющих на рост эпитеки. Существование же здесь некоторых пробелов и спорных положений не позволяет пока с полной уверенностью пользоваться эпитекой в качестве «геологических часов», хотя интересные и обнадеживающие данные, свидетельствующие о замедлении скорости вращения Земли в течение фанерозоя, мы имеем уже сейчас. К тому же мы не можем пренебрегать важным, но далеко не полностью изученным воздействием космических факторов на рост организмов. И здесь уместно вспомнить слова поэта Френсиса Томпсона: «Ты не можешь пошевелить цветок, не потревожив звезду»<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Thompson F. Selected poems. L., 1921, p. 71.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кузьмичева Е. И. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЭПИТЕКИ У ОДИНОЧНЫХ СКЛЕРАКТИНИЙ. — Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы, отдел геол., 1980, т. 55, вып. 1, с. 85.

Наумов Д. В. КОРАЛЛОВЫЕ РИФЫ ОКЕАНИИ. — Природа, 1972, № 10.

Кусто Жак-Ив, Диоле Ф. ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ КОРАЛЛОВ (пер. с франц.). Л., Гидрометеоздат, 1975.

Златарски В., Эсталелла Н. М. СКЛЕРАКТИНИИ КУБЫ С ДАННЫМИ О СОПУТСТВУЮЩИХ ОРГАНИЗМАХ. София, 1980.

<sup>7</sup> Beauvals L., Chevalier J. P. — Bull. Soc. zool. France; 1980, v. 105, № 2, p. 301.

<sup>8</sup> Scrutton C. T. Ibid., p. 557.

## Нейтрино во Вселенной

Г. С. Бисноватый-Коган



Геннадий Семенович Бисноватый-Коган, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института космических исследований АН СССР. Занимается изучением физических процессов в звездах, теорией взрывов сверхновых звезд, теорией рентгеновских и  $\gamma$ -источников, звездной динамикой. Неоднократно печатался в «Природе».

Все физические законы подчинены одним и тем же законам сохранения.

Р. Фейнман.

Как известно, планета Нептун была открыта сначала на бумаге и только потом была обнаружена в той области около-солнечного пространства, где, согласно расчетам, она должна была находиться. Это «теоретическое открытие» стало возможным только потому, что астрономы и математики У. Лаверье и Дж. Адамс были уверены в справедливости закона всемирного тяготения Ньютона. Заметив отклонение в движении планеты Уран от предсказанных вычислениями, сделанными на основе этого закона, они не усомнились в правильности своих вычислений, а предположили существование другой, более далекой планеты, тяготение которой и приводит к наблюдаемым отклонениям. Эта более далекая планета получила название Нептун.

Открытие нейтрино также было связано с уверенностью исследователей в справедливости фундаментальных законов физики — законов сохранения.

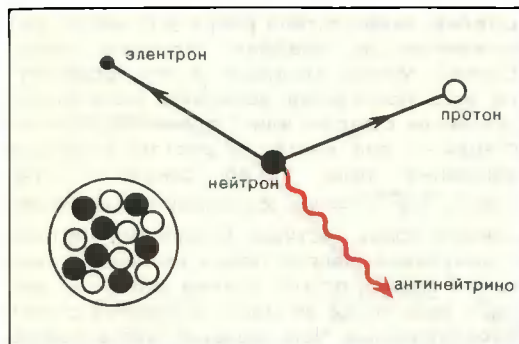
### ДИТЯ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ

Атомные ядра, в которых сосредоточено более 99,9% массы покоя нормального вещества во Вселенной, состоят из двух типов частиц — нейтронов и протонов. Когда нейтроны и протоны соединены в ядро, они стабильны и могут чрезвычайно долго существовать в неизменном состоянии. Однако вне ядра эти частицы ведут себя по-разному: протон по-прежнему стабилен<sup>1</sup>, а нейтрон живет примерно 15 мин, после чего он распадается, давая в числе продуктов распада протон и электрон.

При изучении распада нейтрона было обнаружено одно странное явление: элект-

<sup>1</sup> Согласно современным теоретическим оценкам, время жизни протона должно быть больше  $10^{30}$  лет. См., напр.: — Природа, 1980, № 3.

роны, возникающие при распаде, имели разную энергию, не превышающую, однако, предела  $E_0 = 0,78$  МэВ. Казалось, что в каждом таком распаде выделяется разная энергия и законы сохранения находятся под угрозой. Для их спасения и была придумана в 1930 г. швейцарским физиком В. Паули нейтральная слабовзаимодействующая частица, которой итальянский физик Э. Ферми дал имя нейтрино. Паули предположил, что нейтрон распадается не на две, а на три частицы, и третьей частицей как раз является нейтрино<sup>2</sup>. Она



Протоны и нейтроны в ядре стабильны, так как масса ядра меньше (за счет сил взаимодействия) суммы масс составляющих его протонов и нейтронов (слева). Вне ядра свободный нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино (справа).

и уносит «недостающую» энергию, так что сумма кинетической энергии электрона и нейтрино в каждом распаде постоянна и равна  $E_0$  (кинетическая энергия протона ничтожно мала).

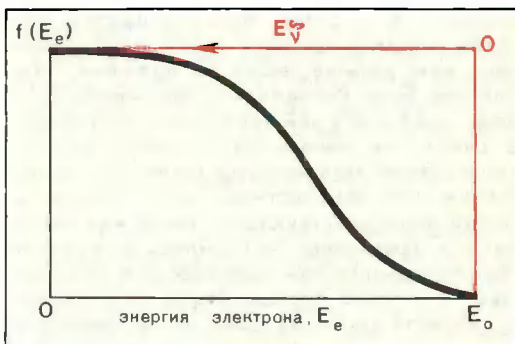
Нейтрино настолько слабо взаимодействуют с веществом, что оказалось очень трудным обнаружить их экспериментально. Только в 1953 г. нейтрино было зарегистрировано в потоке излучения, идущего от ядерного реактора<sup>3</sup>.

Проникающая способность нейтрино, действительно, уникальна. Если поток нейтрино, появляющихся, например, при распаде нейтронов, проходит сквозь толщу Земли, то лишь одна частица из 100 млрд поглощается в ней, а остальные пролетают

свободно. Точно так же нейтрино свободно проходят сквозь толщу звезд, например они вылетают из центральных областей Солнца.

### КАКОВА ПЛОТНОСТЬ НЕЙТРИНО ВО ВСЕЛЕННОЙ?

Сейчас даже школьники знают, что Вселенная расширяется и ее средняя плотность уменьшается со временем. Скорость ее расширения определяют по красному смещению излучения от далеких галактик.



Спектр электронов ( $f(E_e)$ ), вылетающих при распаде большого числа нейтронов.  $E_0$  — разница между энергией покоя нейтрона и энергией покоя электрона и протона;  $E_0$  равна сумме кинетической энергии электрона и энергии антинейтрино.  $E_\gamma$  — энергия электронного антинейтрино.

Зная современные свойства Вселенной — среднюю плотность и скорость расширения, можно, используя космологические уравнения общей теории относительности, рассчитать ее прошлую историю. Важнейшим открытием последних лет было обнаружение заполняющего Вселенную реликтового излучения<sup>4</sup> с температурой около 3 К.

Расчеты показывают, что расширение началось примерно 20 млрд лет назад. В ту далекую эпоху Вселенная представляла собой гигантскую «каплю» огромной плотности —  $5 \cdot 10^{93}$  г/см<sup>3</sup> (квантовый предел плотности вещества). Произошел,

<sup>2</sup> В настоящее время эту частицу называют электронным нейтрино.

<sup>3</sup> Позднее было открыто существование еще двух типов нейтрино: мюонного ( $\nu_\mu$ ) и т-нейтрино ( $\nu_\tau$ ).

<sup>4</sup> Подробнее о реликтовом излучении см.: Корец М. А. Реликтовое радионебо.— Природа, 1966, № 11; Румзайкин А. А. О чем рассказывает анизотропия реликтового излучения.— Природа, 1970, № 5; Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А. Нобелевская премия 1978 г. по физике — А. Пензиасу и Р. Вильсону.— Природа, 1979, № 1.

как иногда говорят, «Большой взрыв», после которого свободное расширение Вселенной продолжается до сих пор. В горячей Вселенной в начале расширения была гигантской не только плотность, но и температура, величину которой сейчас вычислить вряд ли возможно, можно лишь с уверенностью утверждать, что она была много больше  $10^{15}$  К.

В настоящее время многие компоненты вещества, наполняющего Вселенную, — гравитоны, различные сорта нейтрино, реликтовое излучение — слабо взаимодействуют с протонами, нейтронами и электронами, т. е. с тем типом вещества, которое принято называть нормальным. Однако чем дальше назад во времени, тем плотнее была Вселенная и тем менее свободными были в ней нейтрино и излучение. В самой же начальной «горячей капле» плотность и температура были настолько велики, что все частицы, в том числе и слабовзаимодействующие, такие как нейтрино и гравитоны, находились в полном термодинамическом равновесии и их свойства полностью определялись плотностью и температурой материи в ту далекую эпоху.

Действительно, если вести отсчет времени от начала расширения Вселенной, то, согласно расчетам, нейтрино становятся свободными начиная с момента  $t \approx 0,1$  с от начала расширения. Электромагнитное излучение «освобождается» гораздо позже, при  $t \approx 200\,000$  лет после начала расширения. В момент времени  $t \approx 0,1$  с температуры излучения и нейтрино были одинаковы, но в дальнейшем температура излучения уменьшалась медленнее, чем температура нейтрино. Так, если при  $t < 0,1$  с концентрация нейтрино одного сорта в равновесии составляла  $7/8$  от концентрации фотонов, то к настоящему моменту эта концентрация уменьшилась несколько сильнее концентрации фотонов и составляет  $4/7$  от последней.

Таким образом, зная из эксперимента свойства реликтового излучения, мы можем с помощью несложного пересчета найти параметры космологических (т. е. реликтовых) нейтрино. Для равновесного реликтового излучения с  $T_\gamma = 3$  К концентрация фотонов  $n_\gamma = 500 \text{ см}^{-3}$ , а суммарная концентрация нейтрино и антинейтрино каждого сорта в  $11/4$  раз меньше, т. е. равна примерно  $150$  нейтрино/см<sup>3</sup>.

В современную эпоху во Вселенной имеются и другие нейтрино, образовавшиеся в результате ядерных реакций в звездах и, главным образом, при взрывах сверх-

новых. Их средняя энергия составляет  $10$ — $20$  МэВ, т. е. более чем на  $10$  порядков превышает энергию космологических безмассовых нейтрино. Концентрация таких «энергичных» нейтрино такова, что ныне их суммарная плотность примерно на порядок может превышать плотность реликтового излучения и безмассовых космологических нейтрино.

## МОЖНО ЛИ ОСТАНОВИТЬ НЕЙТРИНО?

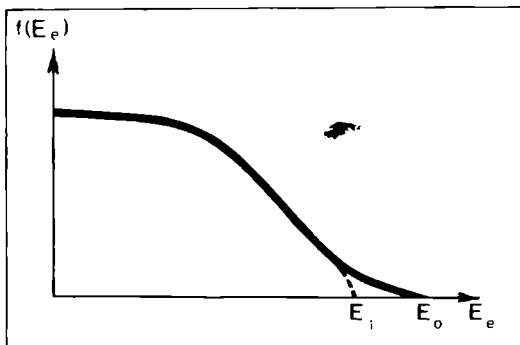
Согласно знаменитой формуле Эйнштейна, энергия тела равна его массе, умноженной на квадрат скорости света:  $E = mc^2$ . Масса, входящая в эту формулу, не есть постоянная величина, однозначно связанная с телом или с элементарной частицей, — она растет с ростом скорости движения тела  $v$  по закону  $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} = \gamma m_0$ . Величину  $m_0$  называют массой покоя частицы. Очевидно, частица с ненулевой массой покоя не может двигаться со скоростью, равной скорости света, — ведь тогда ее масса и энергия станут бесконечными. Чем меньше масса покоя, тем ближе скорость частицы к скорости света (при определенной энергии  $E$  или полной массе  $m$ ). При фиксированных  $E$  или  $m$  скорость частицы стремится к скорости света, если масса покоя стремится к нулю. Частицы, у которых  $m_0 = 0$ , могут существовать (т. е. иметь конечную энергию) только в случае, если они движутся точно со скоростью света. Такие частицы не могут находиться в покое.

До сих пор считалось, что только кванты электромагнитной энергии — фотоны имеют нулевую массу покоя (во всяком случае,  $m_{\gamma 0} < 10^{-14}$  эВ), а их скорость  $v_\gamma = c$ . Не была обнаружена масса покоя и у нейтрино, однако верхний предел на ее величину был не столь низким, как у фотона; так, для электронного нейтрино  $m_{\nu 0} < 50$  эВ, а для мюонного нейтрино верхний предел еще выше.

В начале 1980 г. появились сообщения об экспериментах, проводимых в Институте теоретической и экспериментальной физики, в которых, как утверждалось, была обнаружена конечная масса покоя нейтрино<sup>5</sup>. В этих экспериментах иссле-

<sup>5</sup> Козик В. С., Любимов В. А., Новиков Е. Г., Нозик В. С., Третьяков Е. Ф. — Ядерная физика, 1980, т. 32, с. 301.

довался спектр электронов, возникающих при  $\beta$ -распаде ядра трития — тяжелого водорода, в состав которого наряду с протоном входят два нейтрона. При  $\beta$ -распаде трития один нейтрон в ядре превращается в протон, и в результате образуется ядро  ${}^3\text{He}$  (два протона и нейтрон). При этом, так же как и при распаде нейтрона, вылетает электрон и электронное антинейтрино  $\bar{\nu}_e$ . Однако, в отличие от свободного нейтрона, при распаде ядра трития выделяется существенно меньшая энергия — всего 18 кэВ. При таких энергиях гораздо



Вид спектра электронов, вылетающих при распаде нейтронов, в случае, когда масса покоя нейтрино не равна нулю. Спектр заканчивается не в точке  $E_0$ , а в точке  $E_1$ ;  $E_0 - E_1 = m_{\nu_0} c^2$ .

легче измерять энергетический спектр электронов, причем измерения спектра особенно важны вблизи максимума энергии  $E_e = E_0$ , так как именно эта область дает информацию о массе покоя нейтрино.

Если бы масса покоя нейтрино равнялась нулю, то функция  $f(E_e)$  — спектр электронов — плавно обращалась бы в нуль при  $E = E_0$ . Если же у нейтрино имеется масса покоя, то энергия вылетевших электронов не может быть больше чем  $E_1 = E_0 - m_{\nu_0} c^2$ , причем при энергии  $E = E_1$  функция  $f(E)$  должна довольно резко обращаться в нуль (см. рис.).

Измерение формы спектра электронов от распада трития вблизи  $E_0$  — очень кропотливое занятие, поэтому эксперименты ведутся уже в течение многих лет. До сих пор удавалось определить только верхний предел массы покоя нейтрино, но вот в марте 1980 г. появилась публикация, в которой группой ИТЭФ была указана конкретная величина:  $m_{\nu_0} \approx 30$  эВ. По оценке авторов, это значение с вероятностью 99% заключено в пределах от 14 до 46 эВ,

т. е. примерно в 20 тыс. раз меньше массы покоя электрона.

Обнаружение конечной массы покоя у нейтрино (если данные подтвердятся) можно будет отнести к числу самых фундаментальных открытий последних лет. Однако уверенности в абсолютной достоверности этого результата пока нет. Ввиду сложности проводимых экспериментов и наличия большого количества трудноучитываемых факторов при анализе и интерпретации результатов, понадобится, по-видимому, еще несколько лет для окончательного установления истины.

И все же, несмотря на предварительный характер этих сообщений, последствия существования ненулевой массы покоя нейтрино для физики, и особенно для космологии, столь грандиозны, что уже сейчас они интенсивно исследуются.

### МАЛЕНЬКИЕ ХОЗЯЕВА ВСЕЛЕННОЙ

Главное следствие наличия массы покоя нейтрино для космологии состоит в том, что при  $m_{\nu_0} = 30$  эВ в нейтрино должно быть сосредоточено около 97% массы Вселенной. В этом очень легко убедиться, сделав несложный подсчет. Как отмечалось выше, в современную эпоху концентрация нейтрино во Вселенной равна примерно 150 частиц/см<sup>3</sup>. Это значение получено на основе рассмотрения самых ранних стадий расширения Вселенной; оно не зависит от массы покоя нейтрино, так как в то время эта масса не играла роли. Если масса одного нейтрино равна 30 эВ  $\approx 5 \cdot 10^{-32}$  г, то плотность вещества, сосредоточенного в нейтрино, составляет примерно 10<sup>-29</sup> г/см<sup>3</sup>. Если два других сорта нейтрино имеют близкую массу покоя, то эту плотность придется увеличить еще в 3 раза. Однако — ввиду неопределенности в величине экспериментального значения массы покоя нейтрино — мы остановимся на плотности 10<sup>-29</sup> г/см<sup>3</sup>.

Такое значение плотности замечательно в одном отношении: где-то вблизи него проходит рубеж, отделяющий «открытую», бесконечную и вечно расширяющуюся Вселенную от «закрытой», в которой расширение в будущем должно смениться сжатием. Такая Вселенная конечна, и ее существование состоит, по-видимому, из конечных по времени циклов в десятки или сотни миллиардов лет каждый. Было бы приятно, если бы Вселенная оказалась «плоской», т. е. имела бы плотность, в точности равную критической плотности, отделяющей «закрытую» Вселенную от «откры-

той» (при этом она бесконечна, так же как и открытая Вселенная). Это сильно облегчило бы жизнь теоретикам-космологам, так как все расчеты для «плоской» Вселенной проводить гораздо проще.

В большинстве своем астрономы-наблюдатели принимают для плотности нормального вещества во Вселенной значение  $\rho_v \approx 3 \cdot 10^{-31}$  г/см<sup>3</sup>, откуда ясно, что нейтрино с ненулевой массой покоя (плотность которых должна составлять  $10^{-29}$  см<sup>-3</sup>) должны были стать главным компонентом Вселенной.

Наличие массы покоя у нейтрино приводит, кроме того, к коренным изменениям свойств этих частиц в процессе расширения Вселенной. Если бы они не обладали массой покоя, их плотность в современной Вселенной была бы порядка плотности реликтового излучения; конкретно, для одного сорта нейтрино  $\rho_v \approx 1/3\rho_\gamma \approx 1,5 \cdot 10^{-34}$  г/см<sup>3</sup>, т. е. была бы пренебрежимо мала по сравнению с плотностью нормального вещества  $\rho_v$ . Температура нейтрино, характеризующая среднюю энергию каждой частицы, составляла бы примерно 2 К, и, естественно, все они двигались бы со скоростью света. Если же масса покоя нейтрино не равна нулю, то в процессе расширения Вселенной наступает момент, когда нейтрино перестают быть релятивистскими, т. е. их средняя скорость движения становится существенно меньше скорости света. Для  $m_{\nu_0} = 30$  эВ это соответствует  $t = 600$  лет от начала расширения. С этого момента средняя скорость нейтрино начинает быстро падать, и сейчас она должна составлять всего 6 км/с (для случая однородного распределения нейтрино). Такая скорость соответствует ничтожной температуре порядка  $3 \cdot 10^{-5}$  К. Однако, согласно оценкам, нейтрино распределены далеко неоднородно, поэтому их скорости должны быть много выше.

В различии изменения параметров релятивистских и нерелятивистских частиц в процессе расширения Вселенной лежит причина того, что наличие массы покоя нейтрино столь кардинально меняет космологию. Так как нейтрино практически ни с чем не взаимодействуют, число их сохраняется и их плотность в процессе расширения Вселенной падает одинаково как при нулевой, так и при ненулевой массе покоя. Разница заключается в законе изменения энергии каждой частицы. У нерелятивистских частиц при  $m_{\nu_0} \neq 0$  и  $t > t_0$  кинетическая энергия много меньше энергии покоя, которая в процессе расширения сохраняется, поэтому масса такой частицы

остается практически неизменной. В то же время релятивистская частица в процессе расширения уменьшает свою энергию обратно пропорционально характерному линейному размеру Вселенной. За время, прошедшее от  $t_0 = 600$  лет до настоящего момента (т. е.  $t = 20$  млрд лет), характерный размер Вселенной увеличился примерно в 60 тыс. раз, соответственно плотность нейтрино с массой покоя 30 эВ в настоящее время также должна быть примерно в 60 тыс. раз больше, чем была бы у «безмассовых» нейтрино.

О большом значении массы покоя нейтрино для космологии говорилось задолго до того, как появились экспериментальные указания на существование массы покоя нейтрино; так, еще в 1966 г. эти вопросы были рассмотрены в работе Я. Б. Зельдовича и С. С. Герштейна<sup>6</sup>.

#### МАССА ПОКОЯ НЕЙТРИНО МОЖЕТ ПОМОЧЬ В РЕШЕНИИ СТАРЫХ ПРОБЛЕМ АСТРОФИЗИКИ

В космологии часто употребляется понятие изотропной и однородной Вселенной. В большинстве космологических моделей плотность Вселенной считается постоянной по пространству, хотя наш повседневный опыт, казалось бы, этому противоречит. Действительно, все вещество Вселенной объединено в звезды, планеты; звезды объединены в галактики, галактики — в скопления галактик. И все же в очень больших масштабах, порядка 100 Мпс ( $3 \cdot 10^{26}$  см), никаких структурных делений не наблюдается и Вселенную можно считать однородной в среднем, имея в виду масштаб усреднения около 100 Мпс. В эпоху, близкую к «Большому взрыву», все структурные образования, имеющиеся в современной Вселенной, были слиты воедино и однородность Вселенной была истинной, а не усредненной, как сейчас.

Возникает вопрос: как же в однородной Вселенной образовались скопления галактик, звезды и т. д.? Современная космология объясняет это действием гравитационной неустойчивости, которая приводит к росту малых возмущений, всегда имевшихся во Вселенной в виде термодинамических или иных флуктуаций, и к превращению их в структурные образования современной Вселенной.

<sup>6</sup> Герштейн С. С., Зельдович Я. Б. — Письма в ЖЭТФ, 1966, т. 4, с. 174.



Существование массы покоя нейтрино значительно меняет картину развития гравитационной неустойчивости. Медленные массивные нейтрино не могут противостоять действию собственного тяготения. Поэтому возмущения в нейтринном веществе растут, а так как в нем сосредоточена основная доля массы Вселенной, то нейтринное вещество и создает основное тяготение и увлекает за собой нормальное вещество. Так образуются первоначальные сгущения, которые обычно отождествляются с характерной структурной единицей Вселенной — скоплением галактик. Массивные нейтрино должны составлять основную массу скоплений; соотношение между  $\rho_v$  и  $\rho_b$  в скоплениях такое же, как во Вселенной в среднем. Это допущение позволяет подойти к решению важной наблюдательной проблемы — проблемы «скрытой массы»<sup>7</sup>.

Эта проблема, или парадокс «скрытой массы», возникает при попытке установить массу больших скоплений галактик, которую определяют двумя путями. Во-первых, проводят прямой подсчет числа галактик в скоплениях. Затем из наблюдений ближайших галактик определяют характерную величину  $M/L$  — отношение массы галактики к ее светимости. Эта величина, выраженная в солнечных единицах, для различных типов галактик меняется примерно от 5 до 20 ( $M/L=1$  для Солнца). Таким образом, зная расстояние до скопления, светимость галактик в нем, а также отношение  $M/L$ , можно найти и массу галактик в скоплении. Второй способ определения массы скопления основан на измерении хаотических скоростей галактик в скоплении и использовании теоремы классической механики, называемой теоремой вириала. Согласно этой теореме, средняя кинетическая энергия в стационарной системе взаимодействующих масс равна по абсолютной величине половине ее потенциальной энергии. Потенциальная энергия зависит от радиуса и массы скопления. Поэтому, измеряя скорость галактик и зная из наблюдений радиус скопления, можно из теоремы вириала найти единственную неизвестную величину — массу скопления.

Оказалось, что в богатых скоплениях галактик вириальная масса в 10 и более раз превышает видимую массу; в этом и заключается парадокс «скрытой массы».

Но если бы нейтрино обладали массой покоя, этот парадокс легко разрешался бы: разница между вириальной и видимой массами могла быть сосредоточена в невидимом веществе — массивных нейтрино, заполняющих скопления галактик. (Интересно, что и величина вириальной массы скопления хорошо согласуется с массой первичной нейтринной конденсации, предсказываемой теорией гравитационной неустойчивости для случая  $m_{\nu 0}=30$  эВ.) В обоих случаях эта масса близка к  $10^{15} M_{\odot}$ , а отношение полной массы всех нейтрино к массе нормального вещества равно 30. В нейтринных конденсациях, образующихся в результате развития гравитационной неустойчивости, массивные нейтрино разгоняются до скоростей, сравнимых с хаотическими скоростями галактик в скоплениях, т. е. до величины 1000 км/с.

Наличие массивных нейтрино помогает в решении и некоторых других, более тонких проблем космологии: в объяснении очень малой наблюдаемой величины флуктуаций реликтового излучения и высокого содержания дейтерия в некоторых областях Вселенной.

В заключение подчеркнем, что, несмотря на те замечательные перспективы в решении разных проблем, которые открывает для космологии наличие у нейтрино массы покоя, это ни в коем случае не может служить доказательством истинности самого факта. Решающее слово принадлежит здесь физическому эксперименту.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Зельдович Я. Б., Новиков И. Д.** СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. М.: Наука, 1975.

**Пиблс П.** ФИЗИЧЕСКАЯ КОСМОЛОГИЯ. М.: Мир, 1975.

**Вайнберг С.** ПЕРВЫЕ ТРИ МИНУТЫ. М.: Энергоиздат, 1981.

**Новиков И. Д.** ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. М.: Наука, 1979.

**Окунь Л. Б.** ЛЕПТОНЫ И КВАРКИ. М.: Наука, 1981.

<sup>7</sup> О скрытой массе см., напр.: Эйнасто Я. Э., Чернин А. Д., Йыэвээр М. М. Скрытая масса в галактиках. — Природа, 1975, № 5.

## Фотобиологические аспекты радиационного поражения клеток

М. Н. Мясник, В. А. Соколов, В. Г. Скворцов

Понять закономерности влияния ионизирующих излучений на живую материю, научиться предсказывать и управлять реакцией биологических объектов на их воздействие — основная задача радиобиологии. Примерно те же проблемы решает и фотобиология, изучающая биологическое действие квантов света видимого и ультрафиолетового диапазонов. И если раньше эти два направления развивались независимо друг от друга, то в последние годы наметились пути их сближения, что уже сейчас приносит много неожиданных результатов. Выявление сходства и различия в реакциях биологических объектов на воздействие света и ионизирующего излучения позволяет глубже понять не только механизмы повреждающего действия этих двух видов излучения, но и определенные закономерности функционирования самой живой клетки.

### КАК КЛЕТКА ИСПРАВЛЯЕТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК

Среди многих свойств живой клетки, сформировавшихся в ходе эволюции, немалое значение имеет способность исправлять повреждения, которые спонтанно или под влиянием внешних факторов могут возникать в ее информационно-управляющем аппарате — молекуле ДНК. К таким факторам относится ультрафиолетовое излучение Солнца. Солнечный ультрафиолет обладает энергией, достаточной для разрыва некоторых типов химических связей в ДНК и структурной модификации ряда внутриклеточных химических соединений. Естественно, со временем клетка «научилась» исправлять повреждения ДНК, вызываемые светом. Однако корпускулярные и электромагнитные ионизирующие излучения, обладающие значительно большей энергией, зачастую вызывают такие химические повреждения и модификации, что

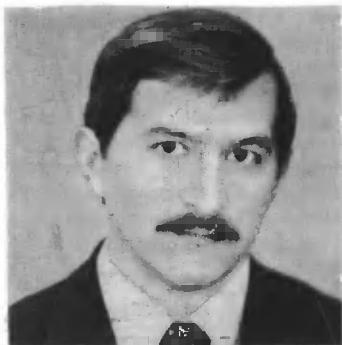
клетка не всегда в состоянии их ликвидировать.

По мере того, как становилась ясной роль ДНК в клетке и были установлены принципы ее организации и функционирования для всех биологических объектов, решались вопросы: какие повреждения в ДНК вызывают ионизирующие излучения или свет и к каким последствиям для клетки они могут привести. А этих повреждений выявлено много, десятки: разрывы молекулы ДНК, разрывы одной или двух ее нитей сразу, разрывы по разным химическим связям, сшивки между нитями, сшивки ДНК с белком, модификации оснований и др. После ультрафиолетового облучения образуются многочисленные фотопродукты, в том числе и пиримидиновые димеры, играющие наиболее существенную роль для облученной клетки. Два соседних пиримидина соединяются друг с другом по углеродным атомам таким образом, что образуется циклобутановое кольцо. Из трех возможных типов пиримидиновых димеров (цитозин — тимин, цитозин — цитозин, тимин — тимин) чаще всего образуются тиминовые. Долгое время полагали, что этот тип повреждений специфичен только для ультрафиолета (254 нм), поскольку все попытки обнаружить пиримидиновые димеры после действия ионизирующей радиации не увенчались успехом.

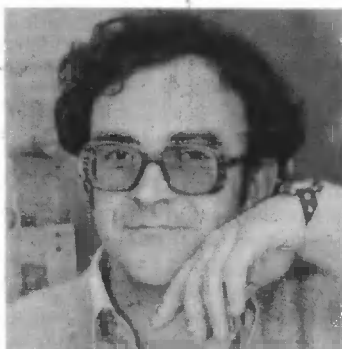
Пожалуй, самый большой вклад радио- и фотобиологии в биологическую науку — открытие процессов репарации, т. е. способности клеток обнаруживать, залечивать, ликвидировать, обходить возникающие повреждения молекул ДНК. Наиболее полно репарация изучена для клеток, облученных ультрафиолетом. В настоящее время известны два типа репарации — темновая и световая. Темновая репарация представляет собой сложный многоэтапный процесс с участием ряда ферментов, ко-



Марк Наумович Мясник, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Отдела медицинской физики Научно-исследовательского института медицинской радиологии АМН СССР (г. Обнинск). Занимается проблемами радиобиологии и радиационной генетики микроорганизмов. Автор монографии: Генетический контроль радиочувствительности бактерий». М., 1974. В «Природе» опубликовал (совместно с В. И. Корогодиным) статью: Генетический контроль радиочувствительности клеток и эффект восстановления (1968, № 10).



Виктор Алексеевич Соколов, младший научный сотрудник отдела радиационной биофизики того же института. Область научных интересов — молекулярная и клеточная радиобиология.



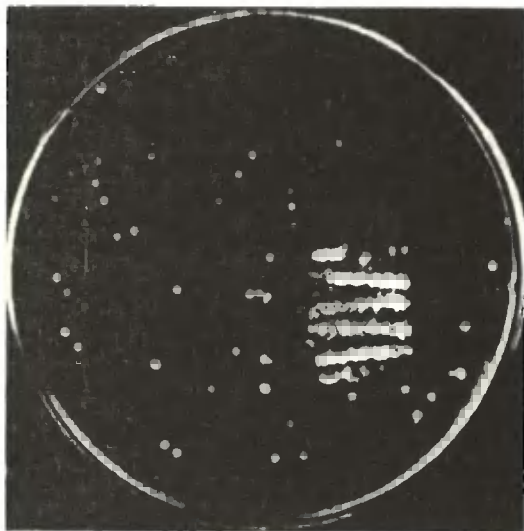
Валерий Григорьевич Скворцов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории радиоактивных препаратов того же института. Основные работы посвящены вопросам радиационной химии биополимеров.

которые обнаруживают, удаляют повреждения ДНК, а также восстанавливают ее исходную структуру. Световая репарация, или фотореактивация, — это также ферментативный процесс, но требующий для своего осуществления энергии видимого света.

Число публикаций по вопросам репарации радиационных повреждений стремительно растет: любая монография в этой области устаревает к моменту выхода в свет. Закономерности репарации изучены и поняты далеко не полностью. Но то, что уже понято, представляет собой изумительную картину, рисующую сложную, драматичную, а порой трагическую борьбу клетки за существование. Не случайно среди терминов, установившихся в изучении

проблемы репарации, возникли такие как «SOS-репарация», включающаяся в клетке по сигналу бедствия; «безрассудные мутанты», которые, стремясь как можно быстрее избавиться от повреждений, разрушают их собственную ДНК. Эффекты репараций, помимо прямого отношения к радиационной биологии и медицинской радиологии, тесно, хотя и не всегда однозначно, связаны с проблемами мутагенеза, канцерогенеза, старения и прочно вошли в сферу представлений современной молекулярной биологии.

Одним из наиболее ранних обнаруженных видов репарации является фотореактивация. В 1949 г. А. Кельнер (США) установил, что выживаемость спор *Strept-*



Фотореактивация клеток *E. coli* после их УФ-облучения (фотография А. Кельнера из "J. Bacteriol.", 1949, v. 58, p. 511).

*tomycetes griseus* и клеток *Esherichia coli*, облученных ультрафиолетом (254 нм), увеличивается во много раз, если на них дополнительно воздействовать интенсивным видимым светом. Свыше 30 лет из книги в книгу переходит полученная А. Кельнером фотография: чашка Петри с выросшими колониями клеток *E. coli*. На большей части фотографии видны лишь несколько колоний, сформировавшихся из выживших после ультрафиолетового облучения клеток. Но в том месте, которое было дополнительно освещено видимым светом, выросло множество колоний. Они повторяют рисунок сфокусированной на чашку вольфрамовой нити лампы, использованной в качестве источника света при фотореактивации. Явление фотореактивации, подтвержденное в 1949 г. независимо от А. Кельнера советским исследователем И. Ф. Ковалевым на парамециях и Р. Дальбеко (США) на бактериофагах, стало первым реальным доказательством репарационных свойств живой клетки.

Биологические эффекты ультрафиолета — гибель клеток, индукция мутаций, торможение синтеза нуклеиновых кислот и др. — обусловлены в значительной мере образованием в ДНК пиримидиновых димеров. Фотореактивация направлена на их устранение. Механизм этого процесса выяснен в работах советских и зарубежных исследователей Г. Б. Завильгельского, К. А. Самойловой, Р. Сетлоу, К. Руперта,

В. Харма и др. Суть его состоит в том, что димеры, образовавшиеся в результате действия электромагнитных квантов УФ-диапазона с большей энергией (4—5 эВ), расщепляются квантами видимого света с меньшей энергией (2 эВ).

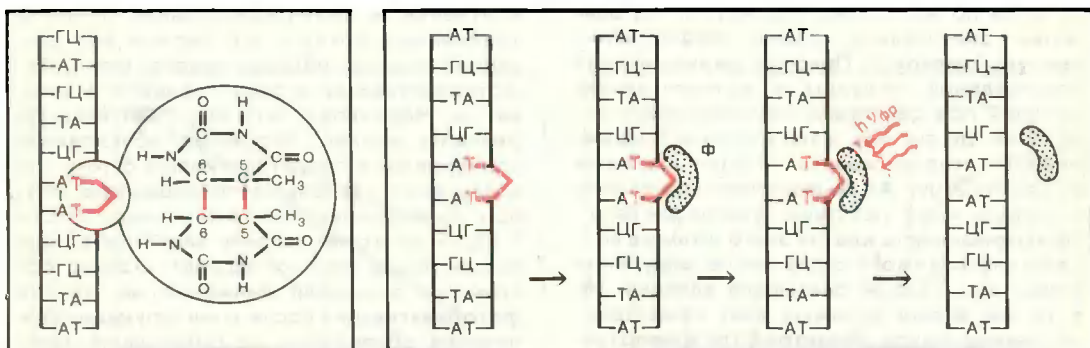
Эти особенности ферментативной фотореактивации были сначала изучены на традиционном объекте молекулярной генетики и биологии — бактериях. Однако впоследствии фотореактивацию обнаружили и у других представителей животного и растительного мира: дрожжей, простейших, моллюсков, иглокожих, членистоногих, хордовых, рептилий, птиц, сумчатых, в некоторых типах клеток млекопитающих и человека. Причем основные черты этого процесса оказались сходными. Выделенный из дрожжей или бактерий фермент фотореактивации восстанавливает поврежденную ультрафиолетом ДНК других видов, т. е. он видонеспецифичен. Естественно предположить, что механизм светового восстановления возник в ходе эволюции для защиты клеток от действия ультрафиолетового излучения.

#### ФОТОРЕАКТИВАЦИЯ ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Долгое время считали, что ферментативная фотореактивация свойственна только клеткам, облученным ультрафиолетом, и неэффективна после действия ионизирующего излучения. Правда, в некоторых модельных экспериментах удалось зарегистрировать в замороженных растворах ДНК или тимина после действия на них ионизирующего излучения УФ-подобный тип повреждений. Так, Д. Хэммонд, облучая тимин  $\gamma$ -квантами (источник —  $^{60}\text{Co}$ ) дозами в несколько Мрад (1 Мрад =  $10^6$  рад =  $10^4$  Гр), выделил продукт, идентичный димеру тимина, возникающему после ультрафиолетового облучения. П. Хэннас и Х. Стин в 1970 г. показали, что облучение замороженных растворов тимина и аденина приводит к возбуждению их молекул аналогично тому, как это происходит под действием ультрафиолета. Однако небиологические условия таких экспериментов — модельные системы, замороженные растворы и, главное, огромные дозы радиации — не позволяли сделать каких-либо выводов для собственно радиобиологии, т. е. для уровня биологически значимых доз и живых объектов. Многочисленные попытки воспроизвести фотореактивацию после действия ионизирующего излучения на живые клетки не

увенчались успехом. К тому же отсутствие фотореактивации клеток после воздействия ионизирующим излучением и наличие ее после облучения ультрафиолетом служило одним из аргументов в пользу существования кардинальных различий в биологическом действии ионизирующего и ультрафиолетового излучений, что зафиксировано в соответствующих монографиях и учебниках. Более того, один из авторов данной работы в статье, опубликованной в 1968 г. в «Природе», также утверждал, что фотореактивация отсутствует после облучения

чения ( $^{60}\text{Co}$ ), при этом фотореактивация после действия ионизирующего излучения обнаруживалась только у двойных мутантов *E. coli* и не наблюдалась у клеток дикого типа и у радиочувствительных одиночных мутантов. Фотореактивирующее действие видимого света на  $\gamma$ -облучение клеткой не только выражалось в уменьшении летальности, но и обладало всеми характеристиками типичной фотореактивации, описанной для ультрафиолета. Это давало основание предположить, что в основе наблюдаемого явления лежит образование пири-



Структура тиминового димера (слева). В молекуле ДНК под воздействием фотохимической реакции два тимина соединяются по 3-м и 6-м атомам углерода и в результате образуется димер. Механизм ферментативной фотореактивации (справа). Фермент фотолиза (Ф) связывается с участком ДНК, содержащим тиминный димер (выделен цветом). При облучении видимым светом ( $h\nu_{\text{вп}}$ ) образовавшийся фермент-субстратный комплекс расщепляется и восстанавливается исходная структура ДНК.

клеток ионизирующим излучением<sup>1</sup>. Но прошло всего несколько лет, и в радиобиологии появилось новое направление — изучение фотореактивации после облучения клеток ионизирующим излучением<sup>2</sup>. Этот феномен был обнаружен почти случайно при изучении выживаемости мутантных штаммов бактерий *E. coli*. В результате мутаций в генах *uvrB* и *exrA* клетки радиочувствительного штамма *E. coli* В<sub>21</sub> лишены систем темновой репарации ДНК, но сохранили способность к фотореактивации. Видимый свет ( $\lambda = 300\text{—}400\text{ нм}$ ) значительно снижал летальный эффект  $\gamma$ -облу-

мидиновых димеров, идентичных образующимся при ультрафиолетовом облучении.

После публикации результатов этих работ<sup>3</sup> они сразу были проверены и подтверждены несколькими группами зарубежных исследователей. Диапазон изучения фотореактивации после ионизирующего излучения стал расширяться, обнаружались такие черты этого явления, как независимость величины фотореактивируемого компонента от условий облучения (в атмосфере азота или кислорода или в присутствии некоторых радиопротекторов). Был измерен спектр действия фотореактивирующего света и охарактеризована кинетика фотореактивации после  $\gamma$ -облучения<sup>4</sup>. В своих опытах Т. Уонг и К. Смит с помощью хроматографического анализа подтвердили высказанное ранее предположение, что именно пиримидиновые димеры, образующиеся при действии ионизирующего излучения, являются фотореактивируемыми повреждениями. Их расчеты показали, что доза  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$  величиной 100 Гр эквивалентна ультрафиолетовому облучению (254 нм) в дозе

<sup>1</sup> Корогодина В. И., Мясник М. Н. Генетический контроль радиочувствительности клеток и эффект восстановления. — Природа, 1968, № 10.

<sup>2</sup> Мясник М. Н. Генетический контроль радиочувствительности бактерий. М., 1974.

<sup>3</sup> Myasnik M. N., Morozov I. I. — Int. J. Radiat. Biol., 1977, v. 31, № 1, p. 95.

<sup>4</sup> Skvortzov V. G., Myasnik M. N., Sokolov V. A., Morozov I. I. — Photochem. Photobiol., 1981, v. 33, № 1, p. 187.

0,2—0,3 Дж/м<sup>2</sup>. Соответствующая величина для другого источника  $\gamma$ -излучения — <sup>137</sup>Cs — составляет 0,06—0,07 Дж/м<sup>2</sup>. При этом образуется примерно 4 димера на геном.

Еще одно подтверждение участия пиримидиновых димеров в процессе фотореактивации после действия ионизирующего излучения получено с помощью генетических методов. В работах по УФ-мутажезу твердо установлено, что основным источником мутаций у бактерий служат пиримидиновые димеры. Ионизирующие излучения по мутагенному действию на бактерии значительно менее эффективны, чем ультрафиолет. Природа радиационных повреждений, ведущих к возникновению мутаций под действием ионизирующих излучений, до сих пор мало изучена. В наших опытах использовались клетки штамма *E. coli* WP2 *uvr* A6, высокочувствительного к мутагенному действию ультрафиолета<sup>5</sup>. На выживаемость клеток этого штамма воздействие видимого света после облучения  $\gamma$ -квантами <sup>60</sup>Co не оказывало влияния. Но в то же время видимый свет существенно снижал выход мутантов (*trp*<sup>+</sup>-ревертантов), индуцированных  $\gamma$ -излучением. Таким образом, у этого штамма отсутствует фотореактивация летальных повреждений, но сохраняется способность фотореактивировать генетические повреждения. Тем самым был конкретизирован один из типов мутационных повреждений, вызываемых ионизирующими излучениями.

### МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ФОТОРЕАКТИВИРУЕМЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Открытие фотореактивации после ионизирующего излучения поставило вопрос о возможных механизмах, приводящих к повреждениям УФ-подобного типа. И сразу же подозрение пало на свечение Вавилова — Черенкова<sup>6</sup>. Напомним, что это свечение возникает при движении заряженной частицы в прозрачной среде со скоростью, превышающей фазовую скорость распространения света в данной среде. К числу основных характеристик свечения Вавилова — Черенкова относятся следующие: свечение появляется только при энергиях, превышающих некоторый порог, и интенсивность свечения пропорциональна

длине пути частицы в среде; спектр излучения непрерывный, с максимумом интенсивности в основном в сине-фиолетовой части спектра; свечение имеет резко выраженную асимметрию — направлено вперед в виде конуса, ось которого совпадает с направлением движения заряженной частицы.

Некоторые из этих характеристик позволяли, по крайней мере качественно, проверить на клетках *E. coli* возможный вклад свечения Вавилова — Черенкова в биологическое действие ионизирующего излучения. А экспериментальная проверка требовалась потому, что первые высказывания авторов обнаруженного феномена фотореактивации о роли свечения Вавилова — Черенкова вызвали скептическую реакцию коллег. Это было обусловлено устоявшимися представлениями о том, что вклад этого свечения в поглощенную дозу при  $\gamma$ -облучении ничтожно мал (0,05—0,1%) и не может вызвать какой-либо ощутимый биологический эффект. Однако при этом не обращали внимания на то, что фотореактивация после ионизирующего излучения обнаружена на гиперчувствительных к ультрафиолету штаммах *E. coli*, для которых образование единичных димеров в клетке уже смертельно. Иначе говоря, для гибели клетки достаточно, чтобы клеточная ДНК поглотила (правда, в «нужном» месте) квант света с энергией 5 эВ. Да и вклад свечения в поглощенную дозу оказался, как вскоре показали расчеты, не таким уж ничтожным.

Однако вначале дело доходило до курьезов. Первая же работа, содержавшая рассуждения о возможной роли свечения Вавилова — Черенкова, была отправлена в солидный международный журнал, издаваемый в Англии. Через некоторое время оттуда пришел ответ с анонимными, разумеется, рецензиями, в которых положительно оценивалась феноменологическая часть статьи, но ставилось условие: исключить все рассуждения о свечении Вавилова — Черенкова как не имеющие отношения к делу. Авторы, недолго посоветовавшись, убрали эти рассуждения из статьи, с тем чтобы не терять возможности опубликовать экспериментальные данные, а доводы относительно роли свечения Вавилова — Черенкова более подробно изложить в другом месте. Статья в таком редуцированном виде была опубликована<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Мясник М. Н., Морозов И. И., Деревянко Р. И. — *Int. J. Radiat. Biol.*, 1980, v. 37, № 1, p. 85.

<sup>6</sup> Мясник М. Н., Морозов И. И. — В кн.: Фотобиология животной клетки. Л., 1979, с. 155.

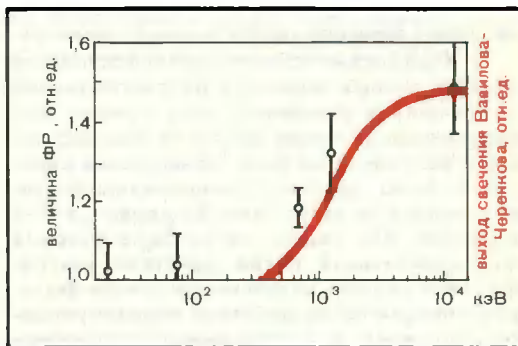
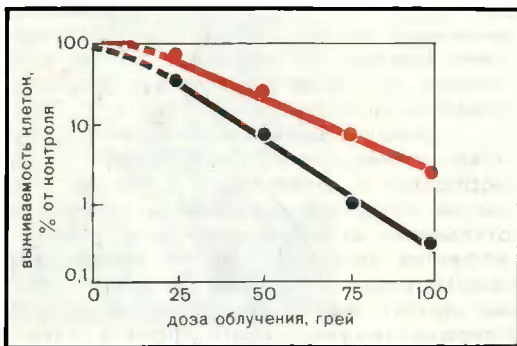
<sup>7</sup> Мясник М. Н., Морозов И. И., Петин В. Г. — *Int. J. Radiat. Biol.*, 1980, v. 37, № 1, p. 81.

А в 1981 г. в том же журнале появилась обстоятельная работа английских авторов о роли свечения Вавилова — Черенкова в фотореактивации клеток *E. coli*, облученных ионизирующими излучениями<sup>8</sup>.

Одним из наиболее убедительных свидетельств, что свечение Вавилова — Черенкова ответственно за формирование пусть не всей, но существенной доли фотореактивируемых повреждений УФ-подобного типа, служит экспериментально обнаруженная зависимость степени фотореактивации от энергии и вида ионизирующего

вируемого компонента возрастает с энергией излучения, т. е. соответственно с ростом выхода свечения Вавилова — Черенкова.

Точные расчеты количества энергии ионизирующего излучения, поглощенного в клетках в форме свечения Вавилова — Черенкова, весьма затруднительны в силу гетерогенной структуры клетки, состоящей из многочисленных компонент с различными коэффициентами поглощения и преломления света. Кроме того, приходится учитывать в расчетах многие другие сопут-



Фотореактивация клеток *E. coli* В<sub>1-1</sub> после  $\gamma$ -облучения (<sup>60</sup>Со). Выживаемость  $\gamma$ -облученных клеток в темноте показана черной кривой, а после дополнительного воздействия видимым светом — цветной кривой.

Зависимость величины фотореактивации (ФР) клеток *E. coli* В<sub>1-1</sub> от энергии. Цветом показан выход свечения Вавилова — Черенкова для излучений в этом диапазоне энергий.

излучения. Как уже говорилось, свечение Вавилова — Черенкова возникает при движении заряженной частицы в среде, когда ее скорость превышает скорость света в этой среде. Поэтому для каждого вида заряженных частиц существует определенная, пороговая энергия, начиная с которой появляется свечение. Для электронов в воде, например, это 236 кэВ, для протонов — 300 МэВ. При облучении клеток штамма *E. coli* В<sub>1-1</sub> оказалось, что фотореактивируемый компонент отсутствует для плотноионизирующих  $\alpha$ -частиц ( $E_{\text{макс}}=4,1$  МэВ), нейтронов ( $E_{\text{ср}}=0,85$  МэВ) и редкоионизирующих излучений низких энергий (40, 150 и 180 кэВ). Фотореактивация наблюдается после облучения клеток редкоионизирующими излучениями с большей энергией:  $\gamma$ -квантами <sup>137</sup>Cs (660 кэВ), <sup>60</sup>Со ( $E_{\text{ср}}=1,2$  МэВ), тормозным  $\gamma$ -излучением (25 МэВ). При этом величина фотореакти-

ствующие и конкурирующие эффекты типа родственных свечению Вавилова — Черенкова: переходного свечения, радиолюминесценции и т. д. Но тем временем, пока физики ведут по возможности более точные расчеты, биологи продолжают экспериментальный поиск качественных подтверждений обсуждаемых концепций. В частности, уже продемонстрировано, что величина фотореактивируемого компонента (для одной и той же энергии излучения) зависит от прозрачности и объема облучаемой среды, т. е. определяется теми же параметрами, которые определяют и интенсивность свечения Вавилова — Черенкова<sup>9</sup>.

Образование фотореактивируемых димеров в ДНК в результате действия ионизирующего излучения можно было бы связать только с прямым возбуждением

<sup>8</sup> Michael B. D., Harrop H. A., Held K. D. — *Int. J. Radiat. Biol.*, 1981, v. 39, № 5, p. 577.

<sup>9</sup> Morozov I. I., Myasnik M. N. — *Radiat. Res.*, 1980, v. 82, № 5, p. 336; Moss S. H., Smith K. C. — *Int. J. Radiat. Biol.*, 1980, v. 38, № 3, p. 323.

молекул при размене энергии излучения в веществе клетки, не привлекая для этого свечения Вавилова — Черенкова. Однако, как говорилось выше, фотореактивация практически отсутствует при облучении клеток рентгеновским излучением с энергией 40—180 кэВ, которое инициирует возбуждение молекул, но лежит ниже порога возникновения свечения Вавилова — Черенкова. Тем не менее взаимодействие возбужденных молекул вносит определенный вклад в образование димеров. Так, по оценкам С. Мосса и К. Смита, около 70% фотореактивируемых летальных повреждений образуется за счет свечения Вавилова — Черенкова и только 30% — за счет прямого возбуждения молекул.

При рассмотрении всей совокупности перечисленных явлений с ретроспективной точки зрения становится ясно, почему фотореактивация после действия ионизирующего излучения не была обнаружена раньше и было сделано принципиальное заключение о ее отсутствии. Во-первых, в 40-х и начале 50-х годов, когда была открыта фотореактивация после действия ультрафиолета и велись интенсивные поиски фотореактивации после действия ионизирующего излучения, в распоряжении радиобиологов были не изотопные источники, а в основном рентгеновские аппараты. При создаваемых на них энергиях фотореактивация не могла быть зафиксирована. Во-вторых, в те годы не были еще выделены гиперчувствительные мутанты *E. coli*. Например, штамм  $V_{5-1}$  получен в 1961 г., когда попытки обнаружить фотореактивацию после ионизирующих излучений уже прекратились. И только в дальнейшем создались необходимые предпосылки для обнаружения фотореактивации после действия ионизирующим излучением.

До недавнего времени свечение Вавилова — Черенкова обсуждалось в радиобиологии в основном только в одном аспекте — в связи с отмечаемыми космонавтами в ходе космических полетов к Луне яркими вспышками в закрытых глазах. Механизмы возникновения вспышек изучались впоследствии на Земле с использованием ускоренных тяжелых ионов и оказались связанными, в частности, со свечением Вавилова — Черенкова. Не исключено, что бактерии *E. coli* могут стать удобным биологическим дозиметром этого свечения при длительных космических полетах.

Приведенные в данной статье факты свидетельствуют о значительно большей распространенности фоторадиационных явлений. При анализе летальных и генети-

ческих эффектов ионизирующего излучения необходимо учитывать вклад в эти эффекты прямого возбуждения молекул, приводящего к образованию поврежденных УФ-подобного типа, а при энергиях ионизирующего излучения, превышающих порог возникновения свечения Вавилова — Черенкова, необходимо учитывать еще дополнительный вклад возбуждений за счет этого свечения. Возникновение поврежденных УФ-подобного типа при воздействии ионизирующего излучения на живые клетки, возможно, потребует в ряде случаев переосценки не только результатов радиобиологических, но и радиационно-химических экспериментов. Там, где прохождение заряженных частиц сопровождается свечением Вавилова — Черенкова, объект фактически постоянно находится в комбинированном поле радиации и света.

Действие радиации и света на живые объекты, несомненно, таит в себе много сюрпризов и нерешенных вопросов. Возрастает интерес к проблеме синергизма — отклонения от аддитивного суммирования эффектов комбинированного воздействия ионизирующего излучения и света, а также других факторов. Остается неясной природа стимулирующего эффекта солнечного света на растения в высокогорных условиях, который был также назван фотореактивацией<sup>10</sup>.

Исследования в области фотореактивации после воздействия ионизирующим излучением выявляет всю сложность первичных событий, приводящих к развитию радиационного поражения клетки, и показывают, как несущественные на первый взгляд процессы взаимодействия энергии с веществом, такие как электронное возбуждение молекул или свечение Вавилова — Черенкова, вызывают биологически значимые эффекты.

<sup>10</sup> Соколов Ю. Л. Солнце Памира. — Природа, 1977, № 2.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Аузрбах Ш.** ПРОБЛЕМЫ МУТАГЕНЕЗА, М.: Мир, 1978.

**Смит К., Хэнеуолт Ф.** МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФОТОБИОЛОГИЯ. М.: Мир, 1972.

**Дертингер Г., Юнг Х.** МОЛЕКУЛЯРНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ. М.: Атомиздат, 1973.



## Адаптивная оптика

В. Г. Дмитриев, Л. В. Тарасов



Валентин Георгиевич Дмитриев, кандидат физико-математических наук, доцент Московского физико-технического института. Специалист в области когерентной и нелинейной оптики. Автор монографии (совместно с Л. В. Тарасовым): Прикладная нелинейная оптика. М., 1982.



Лев Васильевич Тарасов, кандидат физико-математических наук, профессор Московского института электронного машиностроения. Область научных интересов — физика твердого тела, когерентная оптика, квантовая электроника. Автор ряда научно-популярных книг и учебных пособий, а также монографий: Физические основы квантовой электроники. М., 1976; Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. М., 1981; Прикладная нелинейная оптика (совместно с В. Г. Дмитриевым). М., 1982 и др.

В последние годы интенсивно развивается новое направление физической и технической оптики, называемое адаптивной оптикой (или активной оптикой, «живой» оптикой). Адаптивная оптика изучает физико-технические проблемы создания оптических систем, параметры которых, режим работы и даже сама структура могут приспосабливаться (адаптироваться) к изменяющимся внешним условиям. Адаптация осуществляется с целью улучшения характеристик системы, оптимизации ее поведения в тех или иных условиях.

Природа создала прекрасный образец адаптивной оптической системы — человеческий глаз. Достаточно отметить способность глаза к самонастройке на

резкость за счет изменения оптической силы хрусталика, а также способность изменять диаметр зрачка, что позволяет регулировать доступ света внутрь глаза и глубину резкости. Некоторым аналогом такой адаптивной системы является фотокамера, автоматически устанавливающая диафрагму объектива и время экспозиции в соответствии с конкретными условиями съемки.

В широком смысле к адаптивным оптическим системам следует отнести все оптические системы с цепями обратной связи, которые позволяют корректировать параметры системы под действием ее выходных сигналов по некоторому закону (который может изменяться в соответствии с внешними условиями). Примерами подоб-

ных систем могут служить системы автоюстировки резонатора лазера, автоподстройки фазового синхронизма при генерации оптических гармоник в нелинейных кристаллах, автоматической стабилизации длины волны излучения перестраиваемых лазеров. Сюда относятся также автоматические системы слежения оптических телескопов за перемещающимися небесными объектами. Человек, управляющий оптическим устройством с целью оптимальной подстройки его под внешние условия, фактически представляет собой (вместе с настраиваемым устройством) адаптивную оптическую систему с обратной связью, осуществляемой через глаза, мозг и руки оператора.

В узком смысле под адаптивными оптическими системами обычно понимают системы, в которых реализуется корректировка волнового фронта световых пучков, подвергающегося каким-либо искажающим воздействиям. Существенно, что корректировка должна успевать подстраиваться под изменения этих воздействий во времени. Мы ограничимся рассмотрением проблем и устройств адаптивной оптики, понимаемой именно в таком относительно узком смысле.

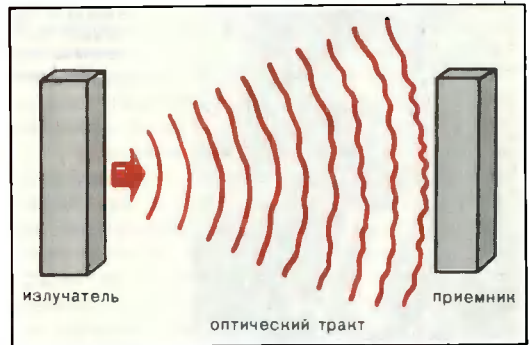
## ОСНОВНАЯ ИДЕЯ

Представим себе, не вникая в детали, оптическое излучение, распространяющееся от некоего излучателя к приемнику. На пути от излучателя к приемнику излучение взаимодействует с естественной средой и различными оптическими элементами (линзами, зеркалами, диафрагмами, специальными кристаллами и т. д.). Совокупность этих элементов вместе со средой будем называть оптическим трактом.

Что происходит с излучением по мере его прохождения по оптическому тракту? Во-первых, постепенно уменьшается интенсивность за счет поглощения и выхода части излучения за пределы оптического тракта. Во-вторых, накапливаются искажения волнового фронта светового пучка. Эти искажения обусловлены турбулентностью среды, заполняющей пространство тракта, неоднородностью материалов, из которых изготовлены элементы тракта, деформациями этих элементов, включая деформации, наведенные за счет температурных и механических напряжений.

Основная идея адаптивной оптики состоит в том, чтобы исправить (скомпенсировать) искажения волнового фронта светового пучка, накапливающиеся при

прохождении оптического тракта. Для этого необходимо, прежде всего, получить информацию о характере искажений волнового фронта, вносимых рассматриваемым оптическим трактом. Далее, на излучающем конце тракта необходимо наложить на передаваемый оптический сигнал соответствующие противофазные искажения («предыскажения»), которые бы скомпенсировали все те изменения волнового фронта, которые внесет оптический тракт. Можно поступить иначе: скорректировать переданный сигнал на приемном конце



Искажение волнового фронта светового пучка по мере его распространения по оптическому тракту.

тракта и скомпенсировать те искажения волнового фронта, которые внес оптический тракт. В первом случае мы имеем дело с излучающей (передающей) адаптивной системой, а во втором — с принимающей.

Сама по себе основная идея адаптивной оптики весьма проста. Однако это простота кажущаяся. Дело в том, что накапливающиеся на тракте искажения волнового фронта светового пучка являются сложными функциями не только времени, но и поперечных пространственных координат. Компенсацию этих искажений надо производить по всему полю изображения (по всей апертуре светового пучка), причем так, чтобы успевать за изменениями искажений во времени. Например, характерное время, в течение которого изменяются искажения, связанные с турбулентностью атмосферы Земли, составляет  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  с. Это предъявляет соответствующие требования к быстрдействию адаптивной системы.

Заметим, что предоставляемая адаптивной оптикой возможность компенсации искажений волнового фронта светового пучка, распространяющегося в атмосфере, имеет исключительное практическое значение. В этом смысле примечательно высказывание американского исследователя Д. Фрида: «Так же, как о погоде, многие имели обыкновение рассуждать о турбулентности земной атмосферы, но никто не пытался с ней бороться. Однако теперь ситуация быстро меняется. Оптическая техника достигла такого уровня развития, что у нее появилась возможность как-то противостоять вредному влиянию турбулентности на распространение оптического сигнала. Это «как-то» получило название «адаптивная оптика»<sup>1</sup>.

### АДАПТИВНАЯ ОПТИКА СЛАБЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

Укажем некоторые практические проблемы, решение которых в существенной степени связывают с развитием адаптивной оптики. Будем при этом различать адаптивную оптику слабых световых пучков и адаптивную оптику интенсивных пучков.

Говоря об адаптивной оптике слабых световых пучков, отметим прежде всего проблемы, связанные с развитием астрономической оптики, с созданием современных оптических телескопов<sup>2</sup>. Современные телескопы третьего поколения имеют диаметр главного зеркала около 5 м. Теоретическая величина предельного разрешения таких телескопов порядка 0,01 угловой секунды. Однако реальное разрешение оказывается равным 1—3 угловых секунд, т. е. в 100 раз хуже теоретического. Это объясняется, главным образом, турбулентностью атмосферы, а также деформациями, неизбежно возникающими в рефлекторе телескопа. Для улучшения углового разрешения стремятся ослабить влияние земной атмосферы, устанавливая телескопы в высокогорных районах и даже вынося их в космическое пространство. Другой путь предполагает увеличение размеров рефлектора. Так, к концу века планируется создание телескопа, светособирающая площадь которого будет в 25 раз больше, чем у 5-метрового рефлектора известной Паломарской обсерватории. Очевидно, что оба указан-

ных пути связаны с исключительно высокими затратами средств.

Неудивительно, что создатели современных телескопов проявляют возрастающий интерес к адаптивным системам. В адаптивном телескопе принципиально возможно полностью скомпенсировать искажения волнового фронта, вносимые атмосферой. Кроме того, адаптивная оптика позволяет скомпенсировать дефекты рефлектора, возникшие как при его изготовлении, так и в процессе эксплуатации. В итоге оказывается возможным получить угловое разрешение, очень близкое к предельному теоретическому. Отметим, что адаптивная оптика позволяет также устранить ошибки, возникающие при наведении телескопа на объект и при сопровождении объекта.

Адаптивная оптика поможет усовершенствовать не только наземные, но и космические телескопы. В результате можно будет достичь рекордных разрешений порядка  $10^{-7}$ — $10^{-9}$  угловых секунд. Подсчитано, что с помощью сопряженных по фазе космических телескопов, размещенных на расстоянии 100 000 км друг от друга, можно реализовать (используя методы адаптивной оптики) угловое разрешение  $2 \cdot 10^{-9}$  угловых секунд, что эквивалентно разрешению до 50 элементов на «диске» ближайших к нам квазаров и до 5000 элементов на «диске» ближайших звезд такого же типа, что и наше Солнце.

Проблема борьбы с влиянием турбулентности среды существует не только в астрономической оптике. Аналогичная проблема возникает при наземной или подводной передаче изображений; в обоих случаях изображение передается через турбулентную и рассеивающую среду, поэтому его качество быстро ухудшается с расстоянием. Вопросы компенсации искажений, препятствующих передаче изображений через воздушную или водную среду, в течение многих лет обсуждались в атмосферной оптике и гидрооптике<sup>3</sup>. Только с появлением адаптивных систем возникла, наконец, реальная возможность эффективно бороться с искажениями волнового фронта оптических сигналов, распространяющихся в естественных прозрачных средах.

<sup>3</sup> Зуев В. Е., Кабанов М. В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере. М., 1977; Жуков Р. Ф., Кондратович А. А., Могильный С. Д., Ципко Б. И. Системы, приборы и устройства подводного поиска. М., 1972.

<sup>1</sup> Адаптивная оптика. Сб. статей. М., 1980.

<sup>2</sup> Оптические телескопы будущего. Пер. с англ. М., 1981.

## АДАПТИВНАЯ ОПТИКА ИНТЕНСИВНЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ

В лазерных установках, предназначенных для осуществления управляемого термоядерного синтеза, используются мощные импульсные лазеры и сложные системы многокаскадного усиления в большом числе параллельных каналов — с последующей фокусировкой лазерного излучения на мишень. В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР создана уникальная лазерная установка «Дельфин», в которой сверхмощные световые импульсы (с энергией 10 кДж при длительности порядка  $10^{-9}$  с) получают при суммировании излучения от 216 параллельных каналов<sup>4</sup>.

Активные среды усилителей, светодетекторы, элементы фокусирующих устройств, воздушные промежутки вносят накапливающиеся искажения в волновой фронт светового импульса, испущенного лазером-излучателем; в результате жесткая фокусировка излучения на мишень оказывается невозможной. Однако все эти искажения можно, в принципе, скомпенсировать, используя методы адаптивной оптики<sup>5</sup>.

К данной проблеме непосредственно примыкает проблема передачи мощного светового излучения на значительные расстояния в земной атмосфере. Известный герой романа А. Н. Толстого инженер Гарин сконструировал свой гиперболоид, «забыв» о несовершенствах оптических систем, турбулентности атмосферы, принципиальных ограничениях, накладываемых законами фотометрии. Допустим, что ему удалось бы решить исключительно сложную задачу: получить от мощного излучателя световой пучок с расходимостью, обусловленной только лишь эффектом дифракции. В земной атмосфере волновой фронт такого пучка все равно бы очень быстро исказился и расходимость светового пучка существенно увеличилась. Эти трудности преодолимы лишь при использовании методов адаптивной оптики. Они позволяют решить две весьма важных

задачи. Во-первых, мощный излучатель с адаптивной передающей системой, в принципе, может и не давать дифракционно-ограниченного излучения. Поэтому допустимо использовать источник, например лазер, в котором за счет некоторого ухудшения когерентности реализуется более высокая выходная мощность. Во-вторых, адаптивная система в существенной мере компенсирует фазовые искажения по трассе распространения излучения. В результате возможно значительное улучшение качества светового пучка вблизи приемного конца трассы — вплоть до восстановления фактически плоского волнового фронта. Естественно, что все ограничения, связанные с законом сохранения энергии, остаются при этом в силе. Адаптивная оптика лишь компенсирует фазовые искажения светового пучка как в самом лазере, так и по трассе.

Следует сказать несколько слов о новом направлении техники, связанном с использованием энергии солнечных лучей, — гелиотехнике. Ее развитие предполагает применение методов адаптивной оптики. В современных гелиоустановках, представляющих собой систему из большого числа зеркал, ориентируемых в пространстве независимо друг от друга, получают температуру до  $4000^{\circ}\text{C}$ . Общую юстировку такого адаптивного многоэлементного зеркала осуществляет ЭВМ. Она же управляет как автосопровождением Солнца всей совокупностью зеркал, так и компенсацией атмосферных искажений изображения Солнца в фокусе системы<sup>6</sup>.

Можно предположить, что самая первая адаптивная гелиоустановка была реализована в 212 г. до н. э. Архимедом. Согласно дошедшей до нас легенде, Архимед с помощью зеркал, отражавших солнечный свет, поджег вражеский флот, угрожавший Сиракузам. Долгое время считали, что эта легенда не соответствует действительности. Простейшие расчеты показывали, что с помощью одного зеркала, отражающего солнечный свет, практически невозможно достичь на объекте, удаленном на сотни метров, плотности мощности, необходимой для возгорания сухого дерева ( $3\text{--}5 \text{ Вт/см}^2$ ). Однако весьма правдоподобна версия, недавно подтвержденная экспериментально, что сожжение деревянных кораблей солнечным светом могло быть осуществлено с помощью большого количества зеркал, каждое из которых

<sup>4</sup> Басов Н. Г. Состояние, перспективы и проблемы лазерного термоядерного синтеза в энергетике будущего. — Природа, 1978, № 6.

<sup>5</sup> О применении адаптивной оптики для решения проблемы жесткой фокусировки излучения на мишень в лазерных установках управляемого термоядерного синтеза см.: Басов Н. Г., Зубарев И. Г. Эффект обращения волнового фронта лазерного излучения. — Природа, 1980, № 8.

<sup>6</sup> Колтун М. М. Солнце и человечество. М., 1981.

фокусирует свет Солнца в одну и ту же точку<sup>7</sup>. Зеркалами могли служить полированные металлические щиты воинов. По команде каждый воин ориентировал свой щит таким образом, чтобы направить «солнечный зайчик» в определенную точку выбранного корабля. Совокупность большого числа таких щитов могла служить своеобразным адаптивным многоэлементным зеркалом.

## МЕТОДЫ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ

Как уже отмечалось, различают передающие (излучающие) и принимающие адаптивные системы. В передающей системе на излучаемый волновой фронт накладывают соответствующие предыскажения, а в принимающей системе корректируют оптическое изображение противофазными искажениями — до восстановления неискаженного изображения. Пример передающей системы — лазерная установка управляемого термоядерного синтеза; пример принимающей системы — телескоп. Адаптивная оптика слабых пучков имеет дело, как правило, с принимающими системами, адаптивная оптика интенсивных пучков — с передающими.

В передающих оптических системах используют два основных метода<sup>8</sup>: фазового сопряжения и апертурного зондирования. В системах с фазовым сопряжением световое излучение, посланное на мишень (объект, находящийся на приемном конце тракта), образует на ней относительно яркий блик. Блик должен быть достаточно мал, тогда его можно рассматривать как точечный излучатель, посылающий назад по тракту сферическую волну. Распространяясь по тракту в обратном направлении, эта волна испытывает те же искажающие воздействия, что и волна от основного излучателя, проходящая тракт в прямом направлении. На излучающем конце тракта искаженная волна, пришедшая от блика, сравнивается (в анализаторе волнового фронта) с неискаженной, т. е. сферической волной. На основании этого сравнения устройство обработки данных рассчитывает необходимое предыскажение, которое надо ввести в излучаемый волновой

фронт, чтобы скомпенсировать искажения, вносимые трактом. Описанный метод называется также методом обращения волнового фронта, поскольку сопряженную по фазе световую волну можно рассматривать как волну с обращенным фронтом. Этой волне соответствуют лучи, имеющие такие же траектории, что и в исходной волне, но распространяющиеся в обратном направлении.

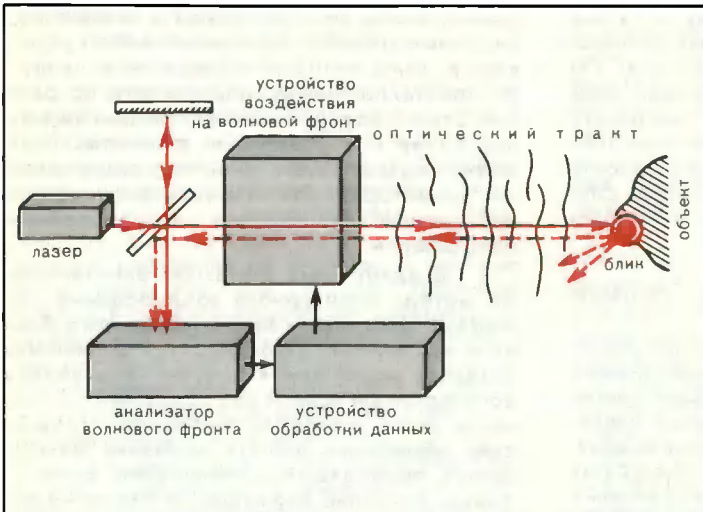
В адаптивных системах, работающих по методу апертурного зондирования, измеряют мощность света, отраженного бликом на мишени. Производятся различные пробные возмущения излучаемого волнового фронта и всякий раз измеряется мощность света, отраженного бликом. Устройство обработки данных выявляет возмущения, приводящие к увеличению яркости блика, а прочие возмущения отбрасывает. Происходит своеобразный процесс итераций (последовательных приближений), который заканчивается тогда, когда не удается более увеличить яркость блика. Пробные возмущения волнового фронта производятся в различных точках апертуры изображения; отсюда и название метода — апертурное зондирование. Его часто называют также методом многоканальной фазовой модуляции. Это связано с тем, что пробные возмущения волнового фронта производятся одновременно по многим точкам апертуры изображения или, иными словами, одновременно по многим каналам.

В принимающих адаптивных системах используются методы компенсации волнового фронта и повышения резкости изображения. В системах с компенсацией волнового фронта часть светового пучка, несущего искаженное оптическим трактом изображение, поступает в анализатор волнового фронта, где происходит его сравнение с неискаженным изображением (или, например, со сферическим волновым фронтом). Анализатор производит двумерный (в плоскости изображения) анализ искажений; строится «карта ошибок», поступающая затем в устройство обработки данных, которое вырабатывает необходимую коррекцию для устройства воздействия на искаженное изображение. В результате такой коррекции сигнал ошибки в анализаторе волнового фронта обращается в нуль. Нетрудно заметить сходство данного метода с методом фазового сопряжения.

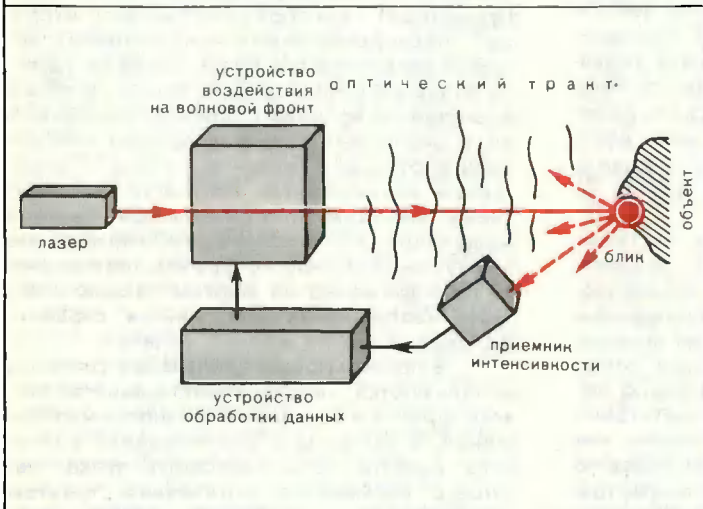
В адаптивных системах с повышением резкости устройством воздействия на волновой фронт производит пробные возмущения фронта принимаемого изображения. Устройство обработки данных выяв-

<sup>7</sup> Claus A. C. — Appl. Opt., 1973, v. 12, p. A14.

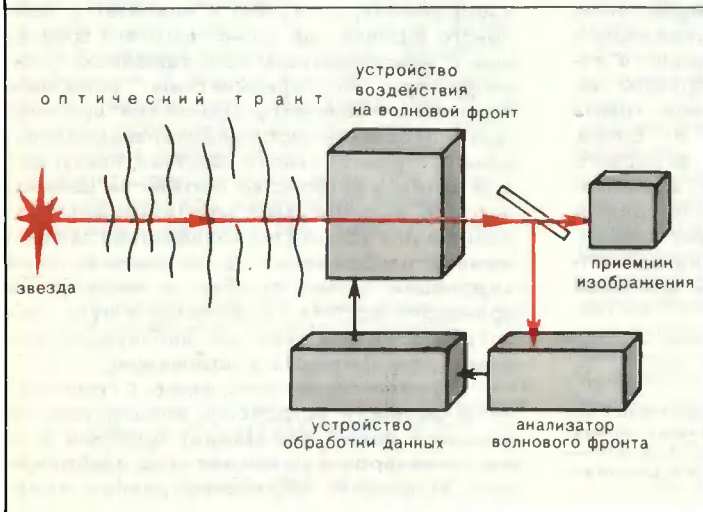
<sup>8</sup> О методах, используемых в адаптивной оптике, см.: Харди Дж. У. Активная оптика: новая техника управления световым пучком. — Тр. Ин-та инженеров электроники и радиотехники, 1978, т. 66, № 6, с. 31.



Передающая адаптивная система, которая работает по методу фазового сопряжения. Такая система позволяет реализовать на объекте световую волну с волновым фронтом, адекватным фронту излучения, выходящего из лазера.



Передающая адаптивная система, которая работает по методу апертурного зондирования. В процессе случайного поиска подбираются фазовые предсказания, позволяющие реализовать на объекте исходный сигнал.



Принимающая адаптивная система, которая работает по методу компенсации волнового фронта. Такая система позволяет необходимым образом откорректировать искаженное изображение, приходящее от удаленного источника.

ляет возмущения, приводящие к повышению резкости изображения. Процесс итераций заканчивается по достижении максимального «качества» изображения. Очевидно сходство данного метода с методом апертурного зондирования. В обоих случаях пробные возмущения волнового фронта производятся в различных точках апертуры изображения.

Нетрудно представить себе более сложные адаптивные системы (излучатель-но-приемные), где коррекция искажений волнового фронта может осуществляться на обоих концах оптического тракта. Структурную схему легко составить из узлов и элементов уже рассмотренных передающих и принимающих адаптивных систем.

## О КЛАССИФИКАЦИИ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ранее мы различали передающие и принимающие адаптивные системы, говорили об адаптивной оптике интенсивных световых пучков и адаптивной оптике слабых световых пучков. Однако этим не исчерпывается классификация адаптивных оптических систем.

Адаптивные оптические системы могут быть подразделены на два класса — линейные и нелинейные. К классу линейных систем относятся системы, в которых фазовая коррекция осуществляется с помощью специально сформированных сигналов, поступающих в устройство воздействия на волновой фронт. Нелинейные адаптивные системы основаны на явлении обращения волнового фронта, имеющем место в целом ряде нелинейных оптических эффектов<sup>9</sup> (о некоторых из них речь пойдет ниже). Коррекция волнового фронта в таких системах осуществляется «автоматически».

Адаптивные устройства можно классифицировать также по характеру производимой коррекции волнового фронта. Простейшим искажением фронта (искажением нулевого порядка) считается перемещение фронта вдоль оси распространения светового пучка (например, расфокусировка изображения). Адаптивная система, корректирующая это искажение, должна иметь устройство управления фокусом, например устройство для перемещения объектива фотоаппарата. В этот же разряд адаптивных

оптических систем попадают адаптивные интерферометры и вообще оптические резонаторы, одно из зеркал которых может перемещаться (например, с помощью пьезоэлементов) параллельно самому себе.

Искажения фронта первого порядка представляют собой наклон волнового фронта как единого целого. Необходимость компенсации такого рода искажений возникает при сканировании оптическим лучом в системах оптического поиска и распознавания, в компенсаторах пространственного дрожания изображения, в системах оптического слежения<sup>10</sup>. Искажения первого порядка могут быть как одномерными, так и двумерными.

Искажения второго порядка связаны с изменением радиуса кривизны волнового фронта. Необходимость компенсации таких искажений возникает, например, при изменении перспективы (объективы с переменным фокусным расстоянием). Существуют искажения и более высоких порядков. Не входя в подробности, заметим лишь, что порядок искажения совпадает с порядком полинома, описывающего функцию искажения волнового фронта.

В литературе часто используются понятия «однопараметрическая» и «многопараметрическая» адаптивные оптические системы. Примеры однопараметрических систем, в которых производится коррекция положения (но не формы) волнового фронта:

— органы зрения человека и животных (адаптация глаза в широком диапазоне яркостей и расстояний до объектов наблюдения)<sup>11</sup>;

— системы автоматической настройки и юстировки оптических резонаторов и интерферометров;

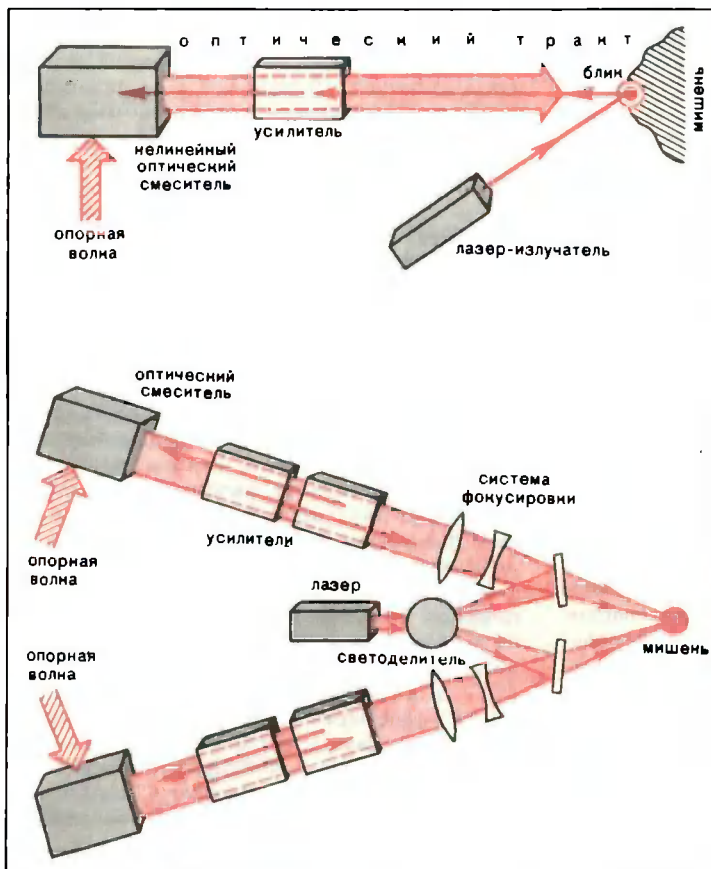
— системы настройки и стабилизации интенсивности и длины волны излучения перестраиваемых лазеров, параметрических генераторов света, умножителей частоты излучения перестраиваемых лазеров и т. д.

В отличие от однопараметрических, многопараметрические адаптивные оптиче-

<sup>10</sup> Ребрин Ю. К. Управление оптическим лучом в пространстве. М., 1977.

<sup>11</sup> Органы зрения можно отнести к однопараметрическим системам лишь условно, учитывая современный уровень наших знаний. Возможно, они способны производить и более сложные виды компенсаций искажений оптических изображений (см., например: Р о у з А. Зрение человека и электронное зрение. М., 1977).

<sup>9</sup> Зельдович Б. Я., Шкунов В. В. Физика обращения волнового фронта и связанных с ним явлений. — Пленарный докл. на III Всес. конф. «Оптика лазеров». Л., 1982.



Передающая адаптивная система с нелинейным оптическим смесителем, обращающим волновой фронт (вверху); адаптивная система для жесткой фокусировки в установках лазерного термоядерного синтеза (внизу).

ские системы могут решать значительно более сложные задачи, связанные с компенсацией искажений не только положения волнового фронта, но и его формы. Управляемые параметры при этом, как правило, оказываются взаимно связанными.

Адаптивные оптические системы классифицируют также по их быстродействию, т. е. по времени срабатывания обратной связи в цепи: излучатель — приемник — устройство обработки данных — устройство воздействия на волновой фронт. По этому свойству можно выделить, в частности, класс медленных (квазистационарных или вообще стационарных) систем, в которых производится компенсация сравнительно медленных возмущений. Пример такой системы — система подстройки нелинейного кристалла под синхронизм второй гармоники при накачке лазером с медленно перестраиваемой частотой<sup>12</sup>. Если же

требуется быстрое срабатывание обратной связи, например при компенсации мелко-масштабных неоднородностей турбулентной атмосферы, то используются быстродействующие (нестационарные) адаптивные системы.

Наконец, можно подразделять адаптивные системы на когерентные и некогерентные — в зависимости от того, имеется или отсутствует согласование фаз отдельных (парциальных) волновых фронтов, создаваемых отдельными отражающими или излучающими элементами системы. Соответственно складываются либо амплитуды поля, либо интенсивности (квадраты амплитуд).

### НЕЛИНЕЙНАЯ АДАПТИВНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Мы уже упоминали, что в нелинейной адаптивной системе операции анализа искажений волнового фронта и коррекции искажений осуществляются «автоматически». Функции анализатора и корректора волнового фронта совмещает в себе не-

<sup>12</sup> Дмитриев В. Г., Череди́ченко О. Б. — Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, т. 44, № 8, с. 21.



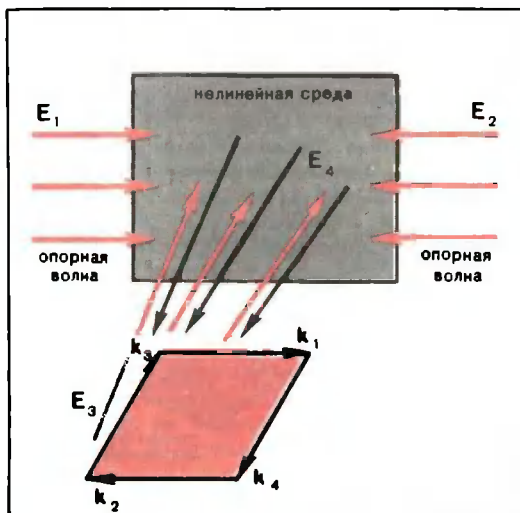
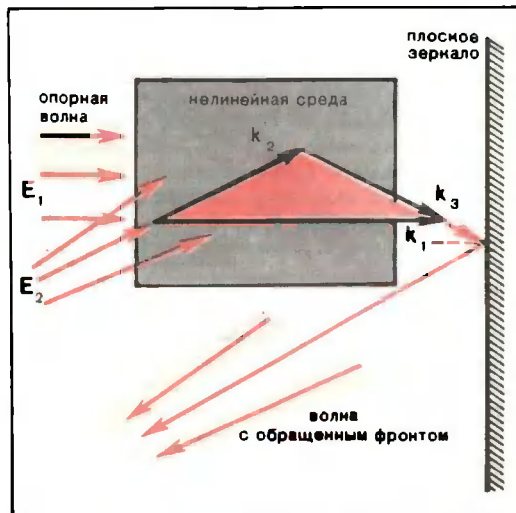


Схема получения волны с обращенным фронтом при четырехволновом взаимодействии в кубично-нелинейной среде (слева) и трехволновом взаимодействии в квадратично-нелинейной среде (справа);  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  — волновые векторы взаимодействующих волн.



как-то искажается. В процессе смешения в нелинейной среде генерируется обращенная по фазе волна, которая, взаимодействуя с искажающей фронт средой, образует на мишени неискаженную сферическую волну. Иными словами, отраженная бликом сферическая волна, распространяясь по тракту, претерпевает искажения, а обращенная волна, распространяясь по тому же тракту в обратном направлении, эти искажения снимает (компенсирует). Нетрудно видеть, что описанная система есть передающая оптическая система, работающая по методу фазового сопряжения.

Подобные системы используются, в частности, в лазерных установках управляемого термоядерного синтеза. В этих установках турбулентная среда практически отсутствует; искажения волнового фронта обусловлены в основном элементами системы (усилителями, зеркалами, фильтрами и т. д.).

Заметим, что оптический смеситель, в котором генерируется обращенная по фазе волна, может рассматриваться как своеобразное «нелинейное зеркало». Это «зеркало» не только отражает излучение назад, но и обращает его по фазе. Следует иметь в виду, что, в отличие от обычного зеркала, здесь нет какой-либо отражающей поверхности — отраженная волна генерируется в объеме нелинейной среды.

### ЭФФЕКТЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ОБРАЩЕНИЮ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

К генерации обращенной по фазе световой волны в нелинейной среде приводит ряд физических явлений, из которых

линейная среда, для которой характерна нелинейная зависимость поляризации от напряженности электрического поля световой волны. По сути дела, речь здесь идет об оптическом смесителе, в котором происходит смешение корректируемой (искаженной) световой волны с некоторой опорной волной, которую можно назвать волной накачки. В процессе смешения в нелинейной среде генерируется новая волна, по фазе обращенная по отношению к корректируемой волне.

Рассмотрим структурную схему нелинейной адаптивной системы. Лазер-излучатель посылает на мишень луч; волновой фронт луча претерпевает на пути к мишени какие-то искажения. Эти искажения, впрочем, совершенно несущественны; важно лишь, чтобы на мишени образовался яркий блик, являющийся источником сферической волны. Сферическая волна проходит усилитель и поступает в оптический смеситель (нелинейную среду). Проходя по оптическому тракту от мишени до нелинейной среды, сферическая волна

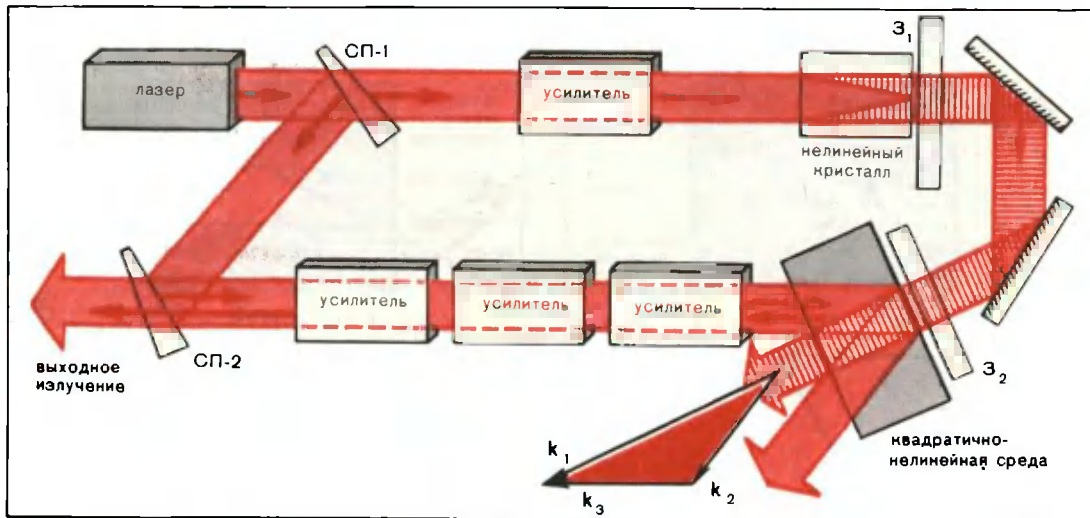


Схема лазерной адаптивной системы, позволяющей получать мощное излучение с высокими когерентными свойствами (на основе трехволнового взаимодействия в нелинейной среде). Излучение частоты  $\omega$  от малоомощного лазера разделяется светоделительной пластиной СП-1 на два луча. Интенсивный луч проходит сквозь пластину, усиливается и возбуждает в нелинейном кристалле вторую гармонику (световую волну частоты  $2\omega$ ). Через зеркала  $Z_1$  и  $Z_2$  [отражающие на частоте  $\omega$  и прозрачные на частоте  $2\omega$ ] вторая гармоника проходит в нелинейную среду, где и реализуется трехволновое взаимодействие (это есть опорная волна  $E_1$  с частотой  $2\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_1$ ). Световой пучок, отраженный от пластины СП-1, затем частично отражается от пластины СП-2, проходит через систему усилителей и после зеркала  $Z_2$  возвращается в нелинейную среду (это — световая волна  $E_2$  с частотой  $\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_2$ ). Взаимодействие волн  $E_1$  и  $E_2$  приводит к появлению в нелинейной среде переизлученной световой волны  $E_3$  с частотой  $\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_3$  ( $\vec{k}_3 = \vec{k}_1 - \vec{k}_2$ ). Волна  $E_3$  распространяется навстречу волне, идущей от СП-1 через систему усилителей; волна  $E_3$  имеет по отношению к ней обращенный фронт и поэтому снимает искажения, вносимые усилителями. В результате из системы выходит усиленное излучение на частоте  $\omega$ , имеющее в то же время почти идеальный волновой фронт.

наиболее часто используется вынужденное рассеяние света. Для определенности рассмотрим вынужденное рассеяние света на акустических волнах (вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна).

Падая в среду, световая волна рассеивается на акустических волнах, порождаемых тепловым движением молекул среды; это есть спонтанное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна. При рассеянии на акустической волне, распространяющейся попутно со световой, частота рассеянного света уменьшается на величину, равную частоте звука; такой рассеянный свет называют стоксовым компонентом (по имени английского физика Дж. Стокса). При

рассеянии на встречной акустической волне частота рассеянного света увеличивается — появляется антистоксов компонент.

При достаточно большой интенсивности света, падающего на среду, возникает вынужденное рассеяние Мандельштама — Бриллюэна. «Вынужденное» оно потому, что теперь световая волна рассеивается на акустических волнах, которые она же сама и возбуждает в среде (за счет явления электрострикции). Интенсивность этих акустических волн может стать значительной; в результате будет наблюдаться существенное усиление интенсивности рассеянной световой волны. Заметим, что при вынужденном рассеянии усиливается лишь стоксов компонент рассеянного света. При некоторых условиях пространственная структура стоксова компонента, рассеянного назад (на  $180^\circ$ ), будет иметь волновой фронт, обращенный по отношению к фронту исходной световой волны.

Обратимся к другому явлению — четырехволновому взаимодействию в так называемых кубично-нелинейных средах<sup>13</sup> (у которых в выражениях для поляризации появляется кубичная по напряженности поля нелинейная добавка). Предположим, что на кубично-нелинейную среду падают две пространственно-однородных (по поперечным пространственным координатам) опорных световых волны  $E_1$  и  $E_2$  с одинаковой частотой  $\omega$ ; волновые векторы  $\vec{k}_1$  и  $\vec{k}_2$  этих волн направлены в противоположные стороны. Если на такую среду направить также световую волну  $E_3$

<sup>13</sup> Степанов Б. И., Ивакин Е. В., Рубанов А. С.— ДАН СССР, 1971, т. 196, № 3, с. 567.

с пространственно-неоднородным полем, частотой  $\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_3$ , то в среде на частоте  $\omega$  появится волна поляризации с амплитудой, пропорциональной  $E_1 E_2 E_3^*$ . Наличие комплексно сопряженной амплитуды  $E_3^*$  выражает тот факт, что пространственная структура волны поляризации имеет волновой фронт, обращенный по отношению к фронту исходной волны  $E_3$ . Распространяясь в среде, волна поляризации переизлучит световую волну  $E_4$ . Как и волна поляризации, она будет иметь частоту  $\omega$  и волновой фронт, обращенный по отношению к фронту волны  $E_3$ , причем переизлученная волна будет распространяться навстречу волне  $E_3$ . Действительно, ее волновой вектор  $\vec{k}_4$  связан с другими волновыми векторами соотношением

$$\vec{k}_1 + \vec{k}_2 = \vec{k}_3 + \vec{k}_4.$$

Поскольку  $\vec{k}_1 = -\vec{k}_2$ , то  $\vec{k}_3 = -\vec{k}_4$ .

Для обращения волнового фронта можно также использовать трехволновое взаимодействие в квадратично-нелинейной среде (с квадратичной по полю нелинейной добавкой в выражении для поляризации). Взаимодействие опорной световой волны  $E_1$  (с частотой  $2\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_1$ ) и пространственно-неоднородной

световой волны  $E_2$  (с частотой  $\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_2$ ) приводит к появлению переизлученной световой волны  $E_3$  (с частотой  $\omega$  и волновым вектором  $\vec{k}_3$ ). Эта волна после отражения от плоскости зеркала, ориентированного перпендикулярно к вектору  $\vec{k}_1$ , превращается в волну с обращенным волновым фронтом (по отношению к волне  $E_2$ ). Волновые векторы  $\vec{k}_1$ ,  $\vec{k}_2$ ,  $\vec{k}_3$  связаны соотношением

$$\vec{k}_1 - \vec{k}_2 = \vec{k}_3.$$

По сравнению с методом четырехволнового взаимодействия этот метод обращения волнового фронта имеет существенный недостаток: он требует использования плоского зеркала. Кроме того, здесь происходит некоторый «снос» обращенной волны в поперечном направлении.

Создание устройств и систем адаптивной оптики стало возможным лишь в последние годы — благодаря достижениям в области нелинейной оптики, лазерной и вычислительной техники, в связи с развитием и широким внедрением автоматизированных систем. Адаптивная оптика делает пока лишь первые шаги, но уже ясно, что ее развитие необычайно расширит горизонты современной оптики, значительно увеличит ее возможности.

## Физика

### Коллективные колебания электронно-дырочной плазмы в полупроводнике

Если на полупроводник воздействовать интенсивным лазерным излучением с энергией фотонов, превышающей ширину запрещенной зоны, в нем создается электронно-дырочная плазма, состоящая из электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне. При невысоких уровнях возбуждения полупроводника плотность плазмы также невелика; преобладает взаимодействие носителей с внутрикристаллическим полем, т. е. с колебаниями решетки — фононами. В этом случае продольные колебания кристаллической решетки полупроводника вызывают колебания плазмы, сопровождающиеся флук-

туациями плотности заряда в ней. Взаимодействие падающего на плазму монохроматического светового излучения с этими флуктуациями приводит к появлению в спектре излучения, неупруго рассеянного плазмой, характерных полос, обычно наблюдающихся в легированных полупроводниках.

Совершенно иное поведение плазмы в чистом арсениде галлия обнаружили специалисты фирмы «Белл лабораториз» и Массачусетского технологического института (США). Когда плотность плазмы достигала  $(3-7) \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , в длинноволновой части спектра излучения, неупруго рассеянного плазмой в направлении, противоположном возбуждающему лучу, возникла новая полоса. Она соответствовала неупругому рассеянию света на колебаниях плотности заряда в бегущих по плазме продольных коллективных волн звуковой частоты (с энергией квантов — плазмо-

нов, — равной 5 мэВ). С увеличением интенсивности лазерного излучения росла плотность плазмы, возрастала интенсивность и ширина этой спектральной полосы.

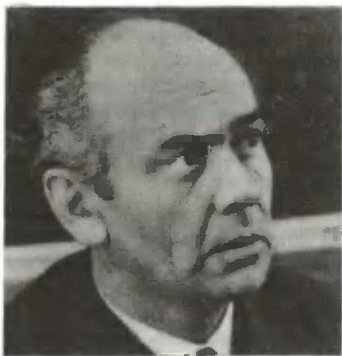
Появление длинноволновых продольных коллективных плазменных волн в полупроводнике означает, что при указанной выше плотности ее связь с решеткой ослабевает и становится существенным кулоновское взаимодействие электронов и дырок между собой. Другими словами, плазма «отрывается» от кристаллической решетки, приобретая собственную коллективную степень свободы.

Затухание коллективных плазменных волн было необычайно слабым (в 10 раз слабее, чем в легированном полупроводнике GaAs n-типа с той же плотностью электронов в зоне проводимости).

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 20, p. 1487—1490 (США).

## Нефть и газ на больших глубинах

А. Я. Архипов



Александр Яковлевич Архипов, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии геохимии горючих ископаемых геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Научные интересы связаны с оценкой перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов и разработкой методов поиска месторождений нефти и газа.

Мы постепенно привыкаем к мысли, что в начале следующего века использование нефти как энергоносителя будет сокращено до минимума, а для химического, микробиологического и других производств ее будет нужно примерно в 10 раз меньше, чем сейчас<sup>1</sup>. Но это в будущем, а пока более 2/3 топливно-энергетического баланса нашей страны и других промышленно-развитых стран составляют нефть и газ, причем уровень их добычи из года в год увеличивается.

За счет чего же осуществляется этот прирост, и какие работы по созданию базы для нефтегазодобывающей промышленности наиболее перспективны?

В настоящее время разрабатываются, главным образом, три направления: продолжают поиски новых месторождений на континентах и в акватории, изучаются возможности увеличения нефтеотдачи пластов-коллекторов уже известных месторождений и, наконец, идут поиски нефти и газа на больших глубинах. Третьему направлению и посвящена настоящая статья.

### ПРАКТИКА ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ НА НЕФТЬ И ГАЗ

Проблема глубокого бурения с целью поисков нефти и газа не нова. В СССР глубины свыше 4500 м осваиваются с 1954 г., а в США эти работы начаты еще до второй мировой войны<sup>2</sup>.

К 1977 г. в нашей стране пройдено около 1100 глубоких скважин и еще целый ряд сверхглубоких — глубже 6000 м. Сверхглубокие скважины пробурены на Украине (Шевченко-1, 7520 м; Луги-1, 6269 м), на Северном Кавказе (Бурунная, 7500 м), в Азербайджане (Шахова коса-100, 6522 м; Саатлинская, 6240 м), в Прикаспийской и Восточно-Кубанской впадинах (Аралсорская, 6806 м; Темиргоевская, 6011 м) и в некоторых других осадочных бассейнах.

В США пробурено несколько тысяч глубоких и сверхглубоких скважин. Ежегодно там бурится несколько сверхглубоких скважин на нефть и газ, а в послед-

<sup>1</sup> Александров А. П. — Коммунист, 1981, № 4, с. 84.

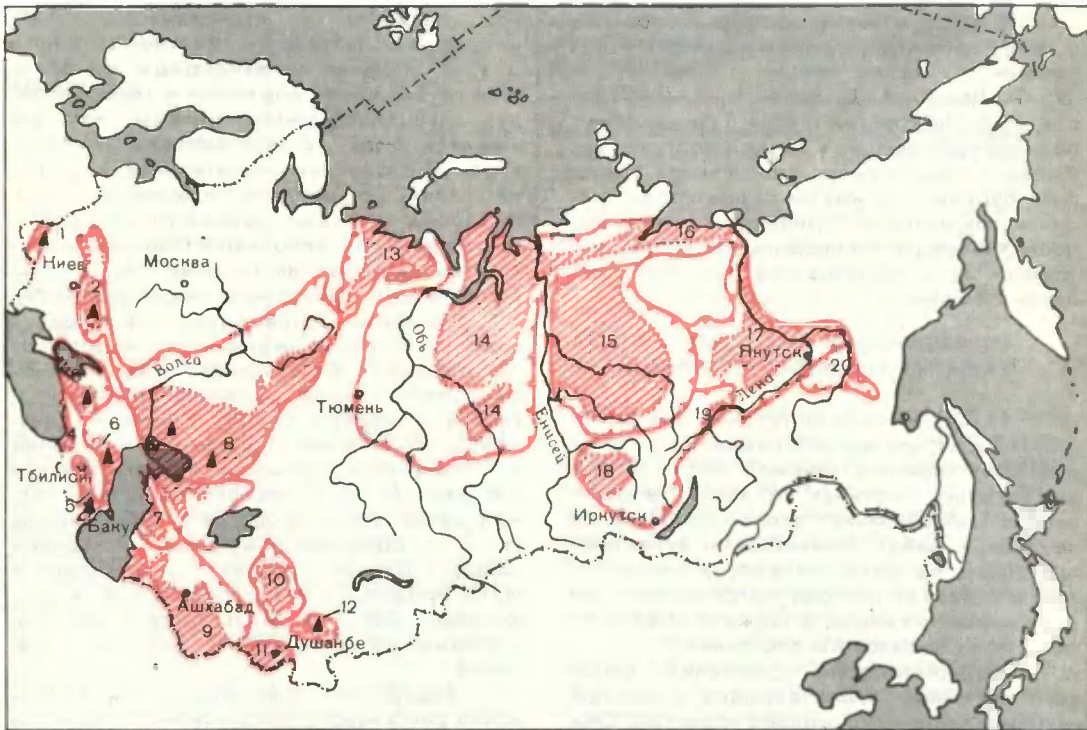
<sup>2</sup> Само понятие «глубокая скважина» достаточно условно: глубокими принято называть скважины, превышающие 4500 м, что примерно соответствует 15 тыс. футов.

ние годы они составляют 2—3% общего количества скважин и около 10—15% суммарной их глубины. Наиболее глубокой на сегодняшний день является скважина Берта-Роджерс-1 в бассейне Анадарко; глубина ее 9583 м. В Западном Техасе самая глубокая скважина достигла 8678 м, в Луизиане — 7803 м, в Скалистых горах — 6922 м.




Итак, имеется многолетний опыт глубокого и сверхглубокого бурения на нефть и газ, но эффективность такого бурения оценивается неоднозначно. Глав-

ным доводом «за» служат, конечно же, месторождения нефти и газа, открытые на больших глубинах. Так, в США в штате Луизиана нефть добывают с глубины 5487 м, и запасы ее только в месторождении Уикс-Айленд оцениваются в 35 млн т. На морской площади Тимбалиер Южный месторождение нефти с запасами 14 млн т открыто на глубине 5248 м.

В результате бурения сверхглубоких скважин открыт целый ряд газовых и газоконденсатных месторождений. Например, в штате Техас одна из скважин дала приток



Нефтегазоносные бассейны СССР с мощностью осадочных пород свыше 5 км (по А. М. Серегину, Б. А. Соколову, Ю. К. Буряину): 1 — Предкарпатский, 2 — Припятский, 3 — Азово-Кубанский, 4 — Восточно-Черноморский, 5 — Южно-Каспийский, 6 — Терско-Каспийский, 7 — Южно-Мангышлакский, 8 — Волго-Уральский, 9 — Каранумский, 10 — Сырдарьинский, 11 — Афгано-Таджикский, 12 — Ферганский, 13 — Тимано-Печерский, 14 — Западно-Сибирский, 15 — Тунгусский, 16 — Анивбаро-Ленский, 17 — Лено-Вилюйский, 18 — Иркутский, 19 — Патомский, 20 — Ададано-Майский.

-  Границы нефтегазоносных бассейнов
-  Области с мощностью осадочных пород свыше 5 км
-  Скважины глубиной более 5 км

газа с глубины 7663—8033 м, а на месторождении Кейлоу-Айленд газ получен с глубины 6663 м. Запасы газа на месторождении Гомес в отложениях, залегающих на глубине 7010 м, оцениваются в 283 млрд м<sup>3</sup>.

В целом в США глубокое бурение было более успешным, чем бурение скважин на меньшие глубины. По данным С. Н. Симакова, почти треть глубоких и сверхглубоких скважин, пробуренных в США в 1979 г., были продуктивными.

Положительные результаты при бурении глубоких и сверхглубоких скважин получены и в нашей стране. Так, в Азербайджанской ССР на глубине свыше 4500 м открыто 6 нефтяных, 5 газонефтяных

и 6 газоконденсатных месторождений<sup>3</sup>. Причем дебит газа в газоконденсатных месторождениях составлял от 500 тыс. до 1,5 млн м<sup>3</sup> в сутки. В Ферганской долине фонтан газа был получен с глубины 5676 м. В керне из нижнемеловых пород, вскрытых скважиной Шевченко-1 на глубине 6900—7000 м, содержалась нефть. Скважина Луги-1 дала приток воды с газом и газоконденсатом с глубины 6190—6252 м и т. д. Примеров, свидетельствующих о перспективности поисков нефти и газа на больших глубинах, можно привести довольно много.

К выводу о необходимости глубокого и сверхглубокого бурения на нефть и газ пришли многие наши специалисты (М. Ф. Двали, М. Д. Белонин, В. Л. Соколов, Э. В. Чайковский и др.). Тем не менее полного единодушия в данном вопросе нет, и самых решительных противников глубокого бурения мы имеем также среди специалистов, которые отрицают саму возможность генерации углеводородов в глубоких горизонтах и образования там промышленных скоплений.

### ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА НЕФТИ И ГАЗА НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Несмотря на значительный объем буровых работ, чрезвычайно важной стороной проблемы поисков залежей нефти и газа на больших глубинах остается теоретическое обоснование этого направления поисковых работ. Важнейшими аспектами проблемы являются генезис углеводородов в условиях глубоко погруженных зон осадочных бассейнов, а также особенности их состава и фазового состояния.

Закономерности изменения фазового состояния углеводородов с ростом глубины достаточно хорошо известны. Они рассмотрены в работах Н. Б. Вассоевича, В. А. Успенского, И. В. Высоцкого, В. Б. Оленина и многих других советских и зарубежных специалистов. В целом намечается такая картина: в верхней части нефтегазоносной толщи сосредоточен газ, глубже залегает нефть, газоконденсаты и, наконец, «сухой» метановый газ. Смена с глубиной нефтяных залежей газовыми и газоконденсатными находится в соответствии с осадочно-миграционной теорией (большие глубины отвечают нижней зоне газообразования) и с данными термобарогеохимии (высокие температуры,

господствующие на глубине, приводят к деструкции углеводородов).

Пределом распространения промышленных залежей нефти было принято считать зону с температурой 177°C (К. К. Ландес), а затем — зону с температурой 200°C (Дж. Хант). Однако работы последних лет показывают, что при таких температурах нефть сохраняет все особенности компонентного и индивидуального состава и общая направленность ее изменений сохраняется. Так, на глубоких горизонтах в составе нефти увеличивается процент алканов, уменьшается содержание цикланов и ароматических углеводородов, снижается плотность нефти и т. д. Жидкие углеводороды на больших глубинах растворяются в газах, образуя газоконденсатные системы. Что же касается газов, то при высоких температурах и давлениях значительная их часть насыщает до предела пластовые воды, а свободные газы находятся в сжатом состоянии (при небольших поровых объемах коллекторов на глубине запасы газа в них могут быть очень существенными).

Прочным фундаментом для решения вопроса о происхождении углеводородов на больших глубинах послужит осадочно-миграционная теория образования нефти и газа и, в первую очередь, одно из важнейших положений этой теории — понятие о стадийности процесса преобразования рассеянного органического вещества и тесной связи этого процесса с литогенезом (т. е. с образованием самих осадочных толщ). Данная теория, разработанная И. О. Бродом, Н. Б. Вассоевичем, В. А. Соколовым, Дж. Хантом, Л. Тиссо и другими учеными, получила сейчас широкое признание.

Ведущими факторами преобразования рассеянного органического вещества пород в углеводороды на стадии катагенеза<sup>4</sup> являются температура и каталитическое воздействие минералов пород, в которых это органическое вещество содержится. Главная фаза образования жидких углеводородов приходится, по Н. Б. Вассоевичу, на зону с температурой 60—150°C (см. табл.). В вулканогенно-осадочных кремнистых толщах начало этой фазы соответствует несколько меньшим температурам, а конец затягивается до более

<sup>3</sup> Артамонова Т. П. — В. кн.: Результаты и предпосылки поисков нефти и газа на больших глубинах. Л., 1978.

<sup>4</sup> Катагенез — процесс изменения осадочных горных пород при повышении температуры и давления, вызванном погружением этих пород на глубину. Различают мезокатагенез — средний этап катагенеза и апокатагенез — конечный его этап.

Таблица  
Зональность образования нефти

Литогенез		Примерная температура, °С	Примерная глубина, км	Генерация нефти и газа
Стадия	Подстадия			
Диagenез		15	0,2—0,5	Биохимическая зона образования газов (преимущественно метана)
Катагенез	Протокатагенез	60	1,5—3,0	Верхняя катагенетическая зона образования метана
	Мезокатагенез			
		150		Главная зона образования нефти (за счет термоллиза и термокатализа органического вещества образуются жидкие углеводороды, метан и его гомологи)
		165	3,0—8,0	Нижняя катагенетическая зона образования газов и газоконденсатов (главная зона газообразования)
	Апокатагенез	210		
Метагенез		300	7,5—15,0	Зона термического образования метана и кислых газов

высоких температур. На стадию позднего мезокатагенеза и раннего апокатагенеза приходится основная масса метана, появляющегося, согласно работам С. Г. Неручева и др., в главной зоне газообразования. При температуре свыше 200°С этот процесс в ослабленном виде продолжается, видимо, и на более поздних стадиях, вплоть до стадии метагенеза.

На поздней стадии катагенеза компонентный состав образующихся газов пополняется за счет сероводорода и углекислого газа. Это дало основание А. Л. Козлову выделить особую зону генерации «кислых» газов. Действительно, на больших глубинах, где преобладают высокие температуры, доля сероводорода и углекислого газа во многих нефтегазоносных бассейнах сильно возрастает. В доломитах бассейна Галф-Кост (США) на глубине около 6800 м (температура 200°С) получен газ, в составе которого отмечено 78% сероводорода и значительное количество углекислого газа. Из карбонатных пород кембрий-ордовикского возраста в Западном Техасе с глубины более 6,5 км получен газ, почти половину которого составляет углекислый газ, а на площади, приуроченной к складчатой зоне того же бассейна, его содержание до-

стигает 98%. Высокой концентрацией сероводорода и углекислого газа характеризуются газы глубоких горизонтов, вскрытые скважиной Молосса в Италии. Анализ содержания сероводорода в бассейнах СССР также показал, что с глубиной концентрация его и в газах, и в пластовых водах увеличивается, причем наиболее богаты им карбонатные породы.

Конечно, образование сероводорода связано не только с зонами высоких температур, т. е. с глубокими горизонтами осадочных бассейнов; газы, содержащие сероводород распространены и в более высоких горизонтах тех бассейнов, где широко развиты соленосные и карбонатные формации. В этом случае сероводород образуется за счет преобразования сульфатов. Однако следует отметить, что высокие температуры заметно усиливают процесс образования сероводорода и даже могут привести к появлению свободной расплавленной серы.

Значительные количества углекислого газа отмечены в газовых месторождениях Шаимского района Западной Сибири, в водах нижнекаменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины и в других регионах. По мнению специалистов, углекислый газ осадочных пород

образуется двумя путями. С одной стороны, возможна его миграция из глубоких горизонтов по разломам, а с другой — углекислый газ может возникать за счет разложения карбонатных пород в зоне высоких температур. Например, Н. И. Хитаров отмечал, что палеогеновые мергели Северного Кавказа при воздействии пара с температурой 200°C выделяют около 100 мг/л  $\text{CO}_2$ , причем с повышением температуры и давления выход углекислого газа увеличивается. Об образовании углекислого газа из карбонатных пород свидетельствуют и методы изотопного анализа. Так, исследования изотопного состава углерода в  $\text{CO}_2$  из газов Западной Сибири, проведенные С. П. Максимовым, Р. Г. Панкиной и др., показали, что эти газы близки к газам из морских карбонатных отложений, присутствующих в разрезе Шаимского района и Днепровско-Донецкой впадины.

Другим источником сероводорода и углекислого газа может быть остаточное органическое вещество пород, слагающих нефтегазоносный бассейн, которое после завершения главной фазы газообразования обогащено самыми разнообразными элементами. Некоторые исследователи допускают возможность образования углекислоты в результате взаимодействия метана и паров воды в зоне высоких температур, характерных для глубоких зон осадочных бассейнов.

Следует подчеркнуть, что высокие концентрации сероводорода и углекислого газа в карбонатных породах нефтегазоносных бассейнов обязывают по-иному взглянуть на возможность использования этих природных газов: углеводороды в данном случае становятся как бы попутными газами. Но не следует забывать, что при значительном объеме терригенных (обломочных) образований в разрезе бассейна существенная часть кислых газов будет связана, как это отмечали Г. И. Амурский и др., и доля их в общем объеме природного газа сократится. Во всяком случае, получение промышленного притока метана с глубины свыше 8000 м указывает на специфические условия генерации и существования газов в глубоких зонах нефтегазоносных бассейнов.

Сама возможность формирования и сохранения залежей нефти и газа в глубоких горизонтах определяется несколькими факторами: историей формирования зон нефте- и газонакопления, геологической историей бассейна и, не в последнюю очередь, качеством коллекторов (пород,

включающих в себе углеводороды) и покрышек (пород, препятствующих их миграции).

### ПЛАСТЫ-КОЛЛЕКТОРЫ И ПЛАСТЫ-ФЛЮИДОУПОРЫ НА ГЛУБИНЕ

Для формирования залежей нефти и газа необходимы достаточно пористые и проницаемые пласты-коллекторы и перекрывающие их флюидоупоры (покрышки). Однако начиная с глубины 4—4,5 км коллекторские свойства пород резко понижаются. Аналогичным образом меняются экранирующие свойства пород, окружающих нефтяную или газовую залежь, т.е. уменьшается их способность препятствовать миграции флюидов.

Тем не менее исследования последних лет показали, что на больших глубинах как в терригенных, так и в карбонатных породах возможны коллекторы с удовлетворительными фильтрационными и емкостными свойствами, способные аккумулировать жидкие и газообразные углеводороды. Об этом же говорит и практический опыт: промышленные притоки нефти и газа получены из коллекторов, залегающих на глубине 4,5—6 км.

Основным признаком, определяющим коллекторские свойства пород, служит их пористость. В этой связи весьма любопытно, что в целом ряде нефтегазоносных бассейнов на глубине 4,5—5,0 км отмечена довольно высокая, до 12—19%, межзерновая пористость терригенных коллекторов (работы О. А. Черникова, Б. К. Прошлякова, В. А. Ханина и др.). Замечено также, что с глубиной пористость гранулярных коллекторов снижается медленнее, чем пористость любых других коллекторов. В целом же темпы снижения качества коллекторов на глубине выше 4,5 км ниже, чем на меньших глубинах.

В пользу возможного образования и накопления углеводородов на больших глубинах свидетельствует и тот факт, что катагенетические изменения порового пространства, заполненного углеводородами, протекают здесь значительно слабее. Фильтрационные и емкостные свойства, видимо, по-разному изменяются с глубиной в зависимости от состава и структуры пород. Во всяком случае, крупнозернистые и среднезернистые песчаники оказываются менее уплотненными на больших глубинах по сравнению с мелкозернистыми песчаниками и алевролитами.

Консервирующе влияют на коллекторские свойства пород (а подчас и улуч-



шают эти свойства) аномально высокие пластовые давления, нередкие в глубоких пластах, содержащих нефть и газ.

Б. К. Прошляков отмечает, что на больших глубинах становится возможным растворение и вынос части карбонатного цемента из пород-коллекторов. Повышенные температуры и давления, характерные для высоких стадий катагенеза, должны способствовать этим процессам, как, впрочем, и процессам регенерации кварца. Растворение карбонатного цемента и регенерация кварца приводят к сохранению удовлетворительных коллекторских свойств.

Вопрос о коллекторских свойствах такого специфического образования, как карбонатные толщи, обсуждается давно. Большинство исследователей довольно единодушны в том, что доломитизация улучшает фильтрационные свойства этих пород. Другим положительным фактором является образование пустот в результате инверсий тектонического режима (смены прогибания территории бассейна его поднятием). При последующих погружениях этих пород в глубокие горизонты нефтегазоносных бассейнов они в значительной мере сохраняют хорошие емкостные и фильтрационные свойства. Подобное влияние тектонических инверсий отмечено и для терригенных пород.

Таким образом, на больших глубинах породы способны сохранить свои коллекторские свойства благодаря наличию межзернового пространства. Но все-таки преобладающую роль играют здесь поро-трещинные и трещинные коллекторы. Впрочем, на больших глубинах могут действовать еще не известные нам факторы, которые обеспечивают промышленную значимость коллекторов.

Сложным и недостаточно изученным остается вопрос о формировании покрышек для залежей нефти и газа в глубоко погруженных горизонтах. С одной стороны, катагенетические процессы изменения глинистых пород ведут к ухудшению изолирующих свойств покрышек; происходит это за счет замещения монтмориллонита и других глинистых минералов гидрослюдами и серицитом, а также за счет все большего развития трещиноватости. С другой стороны, в ряде работ отмечено, что такой важный для глинистых покрышек минерал, как монтмориллонит, присутствует даже на глубине 6000 м (иными словами, там не идут реакции гидрослюдизации). Кроме того, следует обратить внимание на противоположный процесс —

преобразование каолинита в монтмориллонит при высоких температурах и давлениях, что отмечено в экспериментальных работах В. А. Франк-Каменецкого. Эта трансформация может привести к улучшению изолирующих свойств покрышек, сложенных каолиновыми глинами, на интересующих нас глубинах.

Другие исследователи (например, В. Е. Орел) отмечали, что при температуре 250—300°С монтмориллонит может образоваться из смеси каолинита, кварца и доломита. Заслуживают внимания исследования аномально высоких пластовых давлений в глинистых толщах, а также в терригенных и карбонатных коллекторах. Разная величина этих давлений может оказать существенное влияние на сохранность углеводородов. Как правило, аномально высокие пластовые давления в глинистых породах выше, чем в породах-коллекторах.

Покрышки, сложенные соленосными породами, на больших глубинах также, вероятно, надежны и играют такую же роль, как и в расположенных выше по разрезу толщах.

Таким образом, современные теоретические представления о генезисе нефти и газа и формировании их скоплений позволяют рассматривать глубокие горизонты осадочных бассейнов как вполне реальный объект для поисков нефти и газа. Практика поисковых работ в нашей стране и за рубежом показывает, что потенциальные ресурсы нефти и газа в этих горизонтах достаточно велики. Если соотнести данные Г. Хадсона о том, что на глубине более 4,8 км сосредоточено 11% прогнозных запасов нефти, с оценкой прогнозных запасов нефти в мире (300 млрд т), то оказывается, что в недрах осадочных бассейнов на больших глубинах заключено более 30 млрд т нефти и, вероятно, не менее 100 трлн м<sup>3</sup> газа.

В текущей пятилетке основной объем поисковых работ на нефть и газ будет приходиться на глубину до 5 км. Но наряду с этим Государственным комитетом СССР по науке и технике, Академией наук СССР и Министерством геологии СССР поставлена задача — разработать теоретические и практические вопросы освоения больших глубин с целью создания базы для нефтегазодобывающей промышленности к 1990 и 2000 гг. С этой целью в XI пятилетке планируется пробурить целый ряд опорных скважин глубиной до 7 км и начать бурение нескольких скважин на глубину 10 и более км.

## РАЗНЫЕ ГРАНИ ТВОРЧЕСТВА А. Л. ЧИЖЕВСКОГО

В наш век, для которого характерна концентрация исследовательских усилий в узких направлениях, возрастает авторитет ученых, способных мыслить синтетически и обогащать сложившуюся картину мира новыми фундаментальными представлениями, рожденными на пересечении разных областей знания. К числу таких широко и революционно мыслявших ученых относится и создатель гелиобиологии Александр Леонидович Чижевский (1897—1964).

Путь Чижевского в науке не был гладким. Он не избегал противоречивых коллизий, неудач, огорчений и почти катастрофических положений. Оппонентов у него было достаточно, и причин тому было много. Одна из них традиционна — принципиально новые научные направления утверждают себя не сразу. Другая заключалась в том, что Чижевский был человек увлекающийся, и мысль его, опережая факты, порой рождала неоправданные гипоте-

зы. Отголоски недоверия к его результатам, рожденного этим обстоятельством, иногда слышатся и сейчас.

Но кто не ошибался! Время отбрасывает шелуху ошибок. Основная магистраль творчества Чижевского — гелиобиология. На этом пути у него много последователей, и число их, по-видимому, будет расти. Немало почитателей его стихов, которые в последнее время появляются в журналах. С успехом проходят выставки его картин.

Нам представляется, что публикуемые ниже статьи трех специалистов — антрополога и историка В. П. Алексеева, философа и журналиста Л. В. Голованова, близко знавшего Александра Леонидовича в последние годы его жизни, и искусствоведа В. В. Байдина — дают достаточно объемное представление о незаурядной личности Чижевского и подводят некоторый итог его многогранной деятельности.

### Творчество А. Л. Чижевского и современная наука

Член-корреспондент АН СССР В. П. Алексеев  
Москва

Творческий путь Александра Леонидовича Чижевского исключительно разнообразен и продуктивен. Им написаны сотни статей и больше десятка книг. Он выступал с теоретическими идеями в далеких друг от друга областях знания, вел экспериментальную работу, занимался исследованиями, которые требовали сложной статистической обработки и вычисле-

ний, при отсутствии ЭВМ крайне громоздких. Не имея возможности остановиться на характеристике всего, что сделано Чижевским в науке, хочу выделить три темы, две из которых являлись, с моей точки зрения, центральными для его творчества. Разработка третьей может иллюстрировать его слабые стороны, но и здесь была смелость в установлении аналогий



А. Л. Чижевский. 1939 г.

между далекими рядами явлений и свежесть взгляда на уже известное или кажущееся известным. Сама постановка вопросов в каждом из трех направлений, о которых пойдет речь, была оригинальна, демонстрировала независимость Чижевского от традиционно сложившихся точек зрения, а предлагавшиеся решения свидетельствовали об огромной эрудиции и умении мобилизовать горы фактов для доказательства своих положений.

А. Л. Чижевский начал работать несколько позже В. И. Вернадского, но часть своего пути в науке прошел параллельно с ним. Как и Вернадский, он

мыслил космически, охватывая своим внутренним взором всю совокупность явлений видимого мира. Но если Вернадского интересовала прежде всего проблема «всюдности» жизни, ее глобальной и космической роли, то внимание Чижевского привлекала обратная связь — влияние космических процессов, в особенности солнечной активности, на развитие жизни в пределах нашей планеты и ее разнообразные проявления.

Свою основную задачу Чижевский видел в том, чтобы выявить структуру этой зависимости и облечь ее в точную количественную форму. Надо сказать, что первый пункт этой программы методически достаточно традиционен для науки любой эпохи; специфика его состояла лишь в отдаленности и кажущейся независимости друг от друга объектов устанавливаемой связи. Зато второй пункт, тривиальный для науки сегодняшнего дня, был

новаторским в начале века, так как количественное выражение связи между явлениями, ставшее столь необходимым в наше время, в те годы совсем таким не казалось, а разработанные К. Пирсоном и возглавлявшейся им английской биометрической школой статистические методы установления тесноты и характера связей входили в жизнь с большим трудом.

Опубликовав первую статью о влиянии солнечной активности на земную жизнь в 1915 г., Чижевский затем посвятил этой теме несколько монографий, расширяя сферу фактических наблюдений и углубляя их теоретическую трактовку. В 1930 г. выходит его книга «Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца». Часть содержащихся в ней наблюдений уже была известна по его книге «Действие физических природных факторов на нервную систему и нервную активность животных и человека», опубликованной на французском языке в 1925 г. Большая монография Чижевского, подводившая итог всем его частным исследованиям по этой проблеме, также впервые увидела свет в Париже в 1938 г. Она называлась «Эпидемии и электромагнитные пертурбации во внешней среде». В начале 70-х годов, уже после смерти автора, эта книга была переведена на русский язык и выдержала у нас два издания под названием «Земное эхо солнечных бурь». В связи с этим основные идеи Чижевского стали достоянием широкой публики, чему дополнительно способствовала публикация в 1974 г. его воспоминаний «Вся жизнь (годы и люди)».

Как ставит и решает Чижевский проблему солнечно-земных связей? Отмечу прежде всего — он ставит ее очень широко. Бытующее мнение о том, что он показал зависимость периодичности эпидемий от ритмических колебаний солнечной активности, справедливо, но недостаточно: оно явно обедняет им сделанное. На основании самых многообразных статистических данных, почерпнутых из мировой литературы, и собственных наблюдений Чижевский установил широкий круг явлений, на которые влияет периодическая активность Солнца. В одной из глав своей последней большой книги он суммировал эти явления и процессы. Их оказалось 27. Интересно их перечислить: это величина урожая кормовых трав, интенсивность производства и качество вина, рост древесины, время цветения растений, пышность цветения растений, эпифитии, интенсивность размножения и

миграции насекомых, размножение и миграции рыб, время миграций птиц, размножение и миграции грызунов и пушных зверей, продолжительность стойлового содержания скота, эпизоотии и падеж скота, уровень кальция в крови, частота поражений молниями и пожаров от молний, вес новорожденных, функциональная активность биосферы, распространение психопатических явлений, частота преступлений, частота несчастных случаев, нервная возбудимость, частота внезапных смертных случаев, ухудшения в течении заболеваний, частота эпилептических припадков, вековой и годовой ход смертности, вековой ход рождаемости, вековой ход брачности, распространение эпидемий и пандемий. Перечень достаточно пестр, но его можно в общем свести к трем первичным факторам: продуктивности биосферы как целого, ее сезонной ритмике и функциональному состоянию организма. Установление зависимости этих первичных факторов от уровня солнечной активности и составляет главную заслугу ученого, а самый факт этой зависимости есть краеугольный камень современной гелиобиологии.

Именно эта сторона исследований Чижевского получила интенсивное развитие. Изучение солнечно-земных связей осуществляется специалистами самого различного профиля — медиками, биологами, климатологами и географами, астрономами и астрофизиками. Один из соратников Чижевского по разработке этой проблематики Дж. Пиккарди показал значительное влияние космических излучений на течение химических реакций в крови и на структурные свойства воды, содержащейся в организме. По проблемам гелиобиологии было организовано и проведено как в пределах СССР, так и за рубежом большое число симпозиумов и совещаний. Доклады, заслушанные на этих совещаниях и составившие потом несколько сборников, фундаментально расширили фактическую базу гелиобиологии и позволяют представить теперь многообразие солнечно-земных связей в гораздо большем объеме. Гелиобиология раздвигаетсявширь, и масштаб исследований возрастает год от года. Это дает надежду на то, что в недалеком будущем удастся решить кардинальную проблему, над которой тщетно бился Чижевский: найти механизм связи между двумя далеко отстоящими друг от друга мирами — миром явлений на Солнце и миром явлений в биосфере.

Хочу отметить, что подход Чижевского к этой проблеме очень ярко отражает одну из личностных особенностей, важную для воссоздания его творческого и психологического портрета: фактов без объяснений для него не существовало. Это было и плюсом и минусом. Поскольку то, что нам известно о солнечном и космическом излучении, не может объяснить эффекта их воздействия на биологические процессы (в принципе, ситуация с тех пор не изменилась), он выдвигает гипотезу о существовании особого  $\gamma$ -излучения, якобы возникающего в глубинных слоях Солнца и ответственного за усиление функциональной активности биосферы. Последующее развитие астрофизики не подтвердило этой гипотезы, но Чижевский верил в нее до конца своей жизни.

Гелиобиология относится как бы к макроуровню творческих достижений Чижевского: он предстает провидцем сегодняшней космической эры в истории естествознания. В этой связи следует еще упомянуть о громадном его интересе к освоению космического пространства, о многолетней дружбе с К. Э. Циолковским и посильной поддержке, которую Чижевский ему оказывал, о том, что книга Циолковского «Ракета в космическом пространстве» вышла в 1924 г. с предисловием Чижевского.

Но есть еще то, что можно назвать микроуровнем его исследований: взгляд на жизнь не из космического пространства, а изучение отдельных ее свойств под физическим углом зрения. Этот аспект деятельности Чижевского менее известен, результаты не так впечатляющи ярки, как гелиобиологические штудии, но тем не менее тема «Чижевский как биофизик» — факт не только его научной биографии, но и интересная глава в истории советской биофизики.

Проницательный ум Чижевского, сила его интуиции позволили ему нащупать важнейший компонент организма, определяющий его жизненную активность и чутко улавливающий все внешние воздействия, наиболее целесообразно реагируя на них своими структурными и химическими изменениями, — кровь. Чижевский и здесь, несмотря на мучившее его почти всю жизнь отсутствие подходящей лабораторной базы, очень продуктивен, выпускает статью за статьей, последовательно рассматривая проблему, а затем обобщает опыт своей работы в монографических исследованиях. В 1959 г. была опубликована его книга «Структурный анализ

движущейся крови», в 1973 г. посмертно увидела свет книга «Электрические и магнитные свойства эритроцитов». Обе эти книги представляют собою как бы два тома единого продолжающегося издания и отражают этапы изучения одной и той же проблемы с разных сторон.

Чижевский рассматривает кровяное русло в целом, как замкнутую структуру, исследовав в нем динамику потоков в связи с возникающими в движущейся крови электрическими и магнитными силами, и в то же время дает характеристику электромагнитным зарядам отдельных эритроцитов и их изменениям в процессах эритроцитарного взаимодействия. В этих работах опять ярко проявилась та сторона его научной методики, которая делает Чижевского нашим современником, но которая резко тормозила интерес к его исследованиям при его жизни и затрудняла их понимание, — физический и математический подход к анализу биологических процессов. В те годы подавляющее большинство биологов и врачей чуралось физики и математизации, а среди философов находились такие, которые объявляли идеализмом любые попытки сведения каких-либо проявлений жизни к физико-химическим закономерностям.

В известной мере к тому же кругу исследований примыкают и многолетние работы Чижевского по изучению эффекта действия электричества на живые организмы. Он продемонстрировал особую роль отрицательно заряженных ионов в провоцировании многих жизненных процессов. Его итоговая монография на эту тему «Аэроионификация в народном хозяйстве» была опубликована в 1960 г. Ее значение состояло в том, что в ней не только содержалось глубокое рассмотрение проблемы электрической полярности воздушной среды жизни, но и была обоснована и предложена система лечебных и профилактических мероприятий по ионизации воздуха в рабочих помещениях, больницах, скотных дворах и т. д. В настоящее время аэроионификация представляет собою широко используемый способ профилактики заболеваний населения и сельскохозяйственных животных. В упомянутых выше воспоминаниях «Вся жизнь» Чижевский назвал эту область своих исследований «электрической медициной» (сам термин, кстати сказать, кажется довольно удачным).

Третье направление исследовательских усилий Чижевского, на котором я

хотел остановиться, можно сформулировать так: зависимость человеческой истории от периодичности астрофизических и космических факторов. Следует подчеркнуть, что эти работы падают на начало научной деятельности Чижевского, когда он был еще молод и когда характерная для него склонность увлекаться темой исследования, о чем говорилось выше, и идти мыслью впереди недостающих фактов была выражена еще сильнее, чем в зрелом возрасте. И эта сфера научных интересов ученого разрабатывалась интенсивно: в 1921 г. он публикует книгу «Астрономия, физиология и история», в 1924 г. другую — «Физические факторы исторического процесса». В своих воспоминаниях он пишет, что инициатором издания второй книги был А. В. Луначарский. Однако обе эти небольшие книжки представляют собою извлечение из гораздо более обширного труда, оставшегося в полном виде неопубликованным. Его название — «О периодичности всемирно-исторического процесса. Синхронистические таблицы». Именно эта рукопись была защищена Чижевским в 1918 г. на степень доктора истории в Московском университете. Консультантом или, как принято говорить сейчас, научным руководителем диссертанта был А. И. Успенский, оппонентами выступили Н. И. Кареев и С. Ф. Платонов — крупнейшие историки своего времени, давшие благоприятные отзывы. Но это не спасло Чижевского от критики — реакция в печати на опубликованные им книги была, главным образом, резко отрицательной.

Какие же идеи защищал Чижевский в своих исторических сочинениях? Их пафос состоял в утверждении все той же концепции интенсивного влияния солнечной активности на ход земных процессов, но здесь эта концепция распространялась на историю человеческого общества: большое число исторических событий, утверждал автор, зависит от ритмики солнечной активности и периодичности солнечных циклов. Много было натяжек в этих сопоставлениях. Но нельзя забывать, что выдвигались они в эпоху послереволюционной перестройки гуманитарных дисциплин, в том числе и исторической науки, их сближения с марксизмом, и были продиктованы благим намерением расширить материалистический подход к объяснению внутренних закономерностей исторического процесса. Тем не менее эти идеи Чижевского воспринимались в лучшем случае как своеобразная модификация и пережиток уже преодоленного географического и

вообще природного детерминизма, да по существу и были таким пережитком, какими бы оговорками ни сопровождал их сам Чижевский. Но, пожалуй, в этом направлении его исследований было и рациональное — автор одним из первых обратил внимание на те стороны исторической динамики человечества, которые обычно оставались за пределами исторического анализа: моры, голод, опустошительные войны и их особая роль в уменьшении численности населения, тяжкие по своим последствиям стихийные бедствия, наконец, медленные, но неотвратимые ухудшения климата. Историческая наука накопила в последующие десятилетия огромный материал, освещающий влияние этих явлений на историю конкретных обществ, и эти данные полностью укладываются в рамки материалистической трактовки исторического процесса; многочисленные доказательства этого можно найти в только что вышедшей книге «Общество и природа. Исторические этапы и формы взаимодействия»<sup>1</sup>.

Чижевский был на редкость многогранной личностью: он писал стихи на космические и научно-философские темы, был прекрасным пейзажистом и тонким знатоком музыки. И все это было в нем сплавлено в единое мировосприятие. Сам я равнодушен к стихам Александра Леонидовича. Больше трогает меня лирика его живописных произведений, но и они кажутся мне неизмеримо менее значительными, чем все созданное им в научном слове. Дело, однако, не в этих, всегда достаточно субъективных эстетических оценках. В данном случае мы встречаемся с особым талантом к одновременному охвату и мыслью и чувством не только логической стройности, но и красоты мира. По моему глубокому убеждению, именно это предопределило тонкое проникновение Чижевского в исследовавшиеся им проблемы, обозначило характер и выбор этих проблем, это же сближает его творчество с творчеством многих синтетически мыслящих и творивших естествоиспытателей предшествующих поколений и одновременно приближает его к нам.

<sup>1</sup> Общество и природа. Исторические этапы и формы взаимодействия (сб. статей под ред. М. П. Кима). М., 1981.

## Стиль жизни, личности, мышления

**Л. В. Голованов**, кандидат философских наук

Москва

В каждом человеке его природа, т. е. то, что составляет его человеческую сущность, стремится расцвести и принести плоды. Не с каждым это случается. Удача же и неудача — продукт не только обстоятельств, но и самого человека. В сложной диалектике этих сторон происходит становление и развитие личности, ее непрерывное восхождение, утверждение себя в мире, внесение в этот мир чего-то своего, обогащающего опыт всей жизни и представляющего специфический, индивидуальный вклад в общий поток ее развития. Опыт же жизни замечательных людей всегда поучителен.

Неудивителен поэтому интерес к судьбе и личности Александра Леонидовича Чижевского, одного из пионеров космического естествознания, основоположника ряда существенно важных направлений познания и практики, органично влетающих сегодня в общий фронт научно-технической революции. Оценки творчеству Чижевского давались неоднократно. В 1931 г. Совет Народных Комиссаров СССР вынес о его работах специальное постановление<sup>1</sup> с учреждением Центральной научно-исследовательской лаборатории ионизации (ЦНИЛИ). В 1960 г. Президиум ВЦСПС принял постановление, направленное на дальнейшее развитие аэроионизации в нашей стране, указав на работы А. Л. Чижевского<sup>2</sup>. В 1975 г. Секция химико-технологических и биологических наук Президиума Академии наук СССР в своем постановлении отметила значимость проблемы «Влияния космических факторов на процессы, происходящие на Земле», подчеркнув, что выдающаяся заслуга в постановке и разработке этой проблемы «принадле-

жит А. Л. Чижевскому, впервые высказавшему идею о тесной зависимости явлений, происходящих в биосфере, от космических факторов, и академику В. И. Вернадскому — создателю учения о биосфере»<sup>3</sup>. Фундаментальное значение трудов Чижевского в этой области можно расценить как завершение ломки геоцентризма в естествознании, начатой более четырех с половиной столетий назад Николаем Коперником, ибо отныне стало ясно, что Земля не только вращается вокруг Солнца, но и пульсирует всей своей сложной оболочкой в солнечном ритме.

«Электричество жизни» — такова была одна из магистралей научного творчества Чижевского. Ученый исследовал влияние электрических зарядов окружающей нас атмосферы на жизнедеятельность организмов и разработал способ повышения электрического потенциала биологических систем, что способствует укреплению их сопротивляемости внешним неблагоприятным факторам, усилению их жизненной активности, продлению срока их жизни. В живом организме он уже в 20-х годах (по-видимому, первым) увидел «электронную и ионную машину». «Электроны — причина микродинамики органических систем. Свободные электроны — вот истинные черты невидимого мира, его основных превращений, образований и преобразований»<sup>4</sup>. На этом пути он сделал целый ряд принципиальных открытий. В частности, установил наличие радиально-кольцевых структур в движущейся крови, обусловленное электрическим взаимодействием ее форменных элементов.

Попутно естествоиспытатель осуществляет сугубо технические разработки: от-

<sup>1</sup> Правда, 1931, 11 апр., № 100

<sup>2</sup> Об искусственной ионизации воздуха для оздоровления условий труда. Постановление Президиума ВЦСПС от 24 июня 1960 г. (Протокол № 14, п. 2).

<sup>3</sup> Цит. по предисл. О. Г. Газенко к кн. А. Л. Чижевского «Земное эхо солнечных бурь», 2-е изд. М., 1976, с. 19—20.

<sup>4</sup> Чижевский А. Л. Вся жизнь. М., 1974, с. 92.

кривает простой способ получения высокодисперсных и ионизированных паров воды, лекарственных растворов и тонкой пыли твердых веществ, прокладывая тем самым пути, с одной стороны, к электроаэрозоль-терапии, а с другой — к электронной технологии, электроокраске и т. д.<sup>5</sup>

Столь широкий диапазон научного творчества впечатляет. Но нас интересуют и предпосылки его научного подвига. И тут уместно повторить, что если обстоятельства творят человека, то и человек в равной степени творит обстоятельства. «...Истинным знанием и истинной жизнью,— писал К. Маркс,— оказывается самополагание, самоутверждение в противоречии с самим собой, в противоречии как с знанием, так и с сущностью предмета»<sup>6</sup>. В этой концентрированной формулировке — ключ к раскрытию смысла и жизни и личности каждого ученого.

А. Л. Чижевский родился в семье кадрового военного, офицера-артиллериста Л. В. Чижевского, человека самого по себе незаурядного, с исследовательским и изобретательским складом ума, совершившего настоящий переворот в практике ведения артиллерийского боя, дослужившегося в годы первой мировой войны до звания генерала, а после Великой Октябрьской социалистической революции перешедшего на сторону Красной Армии.

Рано лишившись жены, Л. В. Чижевский вместе со своей сестрой О. В. Лесли-Чижевской отдал все силы воспитанию сына, дал ему очень хорошее домашнее образование, всемерно способствовал его всестороннему развитию, надеясь, что тот не будет «служить», а будущее его станет связано с той или иной «свободной» профессией. Таковой, между прочим, считалась в начале века не только стезя художника, музыканта или писателя, но и ученого. К окончанию калужского реального училища Александр Леонидович имел почти профессиональные навыки живописца и пианиста, активно владел стихотворной формой, хорошо знал методику химического эксперимента, астрономических наблюде-

ний. Начиная с детского стремления делать все своими руками, всячески подкрепляемого усилиями старших, и кончая самостоятельной постановкой и решением разнообразных научных задач,— вся его деятельность была полна страсти познания окружающего мира, проникновения в тайны природы, и на склоне своих лет он признавался, что «готов был ухватиться за любое явление в надежде извлечь из него что-либо таинственное, неведомое, никому еще не известное»<sup>7</sup>.

Вкус к труду, к познавательной деятельности у него был как-то особенно развит. Это бросалось в глаза всем, кто его лично знал. И когда та или иная задача совершенно отчетливо выкристаллизовывалась в его сознании, он с необычайным жаром хватался за нее, и все, казалось, начало гореть у него в руках. «Не было и нет такой вещи, явления или события, которые не оставили бы во мне следа,— говорил он.— Я не знаю, что такое «пройти мимо». Я не знал и не знаю, что такое безразличие, пренебрежение или нейтралитет. Этих понятий для меня не существует. Нет для меня и другого состояния: спокойствия. Моя стихия — великое беспокойство, вечное волнение, вечная тревога. И я всегда горел внутри! Страстное ощущение огня — не фигурального, а истинного жара было в моей груди. В минуты особых состояний, которые поэты издревле называют вдохновением, мне кажется, что мое сердце извергает пламень, который вот-вот вырвется наружу. Этот замечательный огонь я ощущал и ощущаю всегда, когда мысли осеняют меня или чувство заговорит... И я всегда был ненасытен и всегда жаждал. Если бы у меня были тысячи глаз и тысячи рук, я всем бы им нашел работу»<sup>8</sup>.

Дома, в семье Чижевских, процветала мысль, влекомая неустанно вперед высокими духовными интересами. Отец, придя с работы, брался за математические расчеты, за изучение трудов по новейшей военной технике, за перевод с французского или немецкого какой-либо новейшей научной работы. Ольга Васильевна, приемная мать будущего ученого, была в курсе всех событий культурной жизни. Великолепно играла на фортепьяно. Систематически брала Александра на концерты и в театр, которые, в свою очередь, служили юноше прекрасной учебной аудиторией. Преклонение пе-

<sup>5</sup> Чижевский А. Л. Способ интенсификации химических реакций. Авт. свид. Класс 12 С.1. № 56573. Оpubл. 29 февраля 1940 г.; Чижевский А. Л. Способ нанесения лакокрасочных и подобных покрытий. Авт. свид. Класс 75 С.3. № 57220. Оpubл. 30 июня 1940 г. См. также сб.: Солнце, электричество, жизнь, 1969, вып. 1, с. 86—88; 1976, вып. 3, с. 65—66.

<sup>6</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 42, с. 166.

<sup>7</sup> Чижевский А. Л. Вся жизнь, с. 16.

<sup>8</sup> Там же, с. 10.



ред всеми музами благоприятно сказывалось на становлении его характера. Увлечение античной и классической литературой, памятниками старины, филологией обусловили его первоначальный выбор высшего образования: он определяется вольным слушателем в Калужское отделение Московского археологического института. «Русская лирика XVIII века» — так называлась его первая диссертация, защищенная в мае 1917 г. А через год на историко-филологическом факультете Московского университета он защищает диссертацию на степень доктора всеобщей истории.

Однако уже с 1915 г. он приступает к целеустремленным естественнонаучным исследованиям. В том же году зачисляется действительным слушателем Московского коммерческого института (ныне Московский институт народного хозяйства им. Г. В. Плеханова). Здесь он стал осваивать, в частности, дисциплины естественнонаучного цикла, преподавание которых было поставлено высоко, начал овладевать высшей математикой, методами статистического анализа.

Однако в разгаре мировая война. И вот он в качестве вольноопределяющегося бомбардира летом 1916 г. отправляется в действующую армию на Галицийский фронт. За отличие в ходе одной из операций награждается Георгиевским крестом. Вследствие контузии уволен в запас. Вернулся к учебе, к своим творческим изысканиям.

После революции его отцу было поручено организовать в Калуге Курсы красных командиров. До конца гражданской войны Л. В. Чижевский оставался на этом посту. На тех же курсах начал преподавать и А. Л. Чижевский. Подготовил специально для них и издал в местной типографии первый в Советской республике учебник по новой грамматике<sup>9</sup>.

Но его все больше влекли к себе биология, физика, астрономия. Специальность «чистого» историка его не удовлетворяла. И вот что еще интересно: популярная в начале века ложная методология в общественных науках, с ее биологизаторским и психологизаторским подходами к социальным явлениям, сыграла с Чижевским удивительную шутку — совратила его совсем с пути, определенного гуманитарной профессией, в... биофизику. Уже будучи доктором (а с 1922 г. профессором) всеобщей исто-



А. Л. Чижевский и Л. В. Голованов. Март 1964 г.

рии, он продолжает учебу на физико-математическом и медицинском факультетах Московского университета, проходит практикум у выдающихся физиков, химиков, биологов и приступает к биофизическим исследованиям под руководством академика П. П. Лазарева. В возглавляемом последним Институте биологической физики Наркомздрава СССР работает некоторое время за одним столом с С. И. Вавиловым.

Для естествознания середины XIX — начала XX в. характерна была тенденция к материализму. И Чижевский был стихийным материалистом, как и подавляющее большинство современных ему естествоиспытателей. Среди них ближе всех для него был земляк Константин Эдуардович Циолковский. Ему он поверял свои думы, советовался по научным вопросам, а тот, в свою очередь, тоже находил в нем единомышленника и надежного друга, несмотря на существенную разницу лет между ними<sup>10</sup>. «Дружба с К. Э. Циолковским была настолько искренней и большой, что я никогда не мыслил какого-либо большого научного дела без него, ибо мои научные дела мы всегда подвергали совместному обсуждению и критике. Мой старший друг

<sup>9</sup> Чижевский А. Л. Курс лекций по русскому языку. Калуга, 1918.

<sup>10</sup> См.: Циолковский в воспоминаниях современников. Тула, 1971, с. 39—42, 45, 56.

платил мне той же приязнью, делился со мною своими мыслями, читал свои неопубликованные произведения, по своим вопросам мы производили совместные вычисления, он поручал мне выяснить ту или иную задачу, стоящую перед ним, и т. д. В моей личной научной деятельности Константин Эдуардович сыграл очень большую роль»<sup>11</sup>. Эта роль сказалась прежде всего на «космизме» его мышления. «Будем стараться иметь космический взгляд на вещи», — говорил Циолковский<sup>12</sup>, и Чижевский смотрел на биологические явления сквозь призму космических факторов, воздействующих на нашу планету. Своими трудами он сумел доказать, что представления о пределах внешней среды организмов должны быть необычайно широко раздвинуты, выйти за пределы не только Земли, но и околоземного пространства. «...Сегодня под внешней средой мы должны понимать весь окружающий нас мир с великим многообразием разного рода раздражителей»<sup>13</sup>. Такая точка зрения долгое время наталкивалась на критическое отношение со стороны специалистов. На это Чижевский возражал: «Мы привыкли придерживать грубого и узкого антифилософского взгляда на жизнь как на результат случайной игры только земных сил. Это, конечно, неверно. Жизнь, как мы видим, в значительно большей степени есть явление космическое, чем земное. Она создана воздействием творческой динамики космоса на инертный материал Земли. Она живет динамикой этих сил, и каждое биение органического пульса согласовано с биением космического сердца — этой грандиозной совокупности туманностей, звезд, Солнца, планет»<sup>14</sup>.

Чтобы прийти к такому выводу, нужна была высокая культура мышления, ядром которого служила диалектика. Тут Чижевскому помогло его изначальное гуманитарное образование и, можно сказать, художественный взгляд на мир. Первое давало добротный фундамент, включающий в себя всю предшествующую школу мысли, второе — целостный подход к любому объекту, оказавшемуся в поле зрения. Настоящей дерзостью в 30-х годах было провоз-

глашать: «...Эпидемиология пойдет рука об руку с астрономией и метеорологией»<sup>15</sup>. Успехи современного естествознания сделали теперь эту мысль трюизмом.

Глядя на мир, Чижевский отчетливо видел единство и связанность протекающих в нем явлений. Понимание этого придавало необычайную смелость его суждениям, а высокая гуманитарная культура позволяла облечь понимаемое в ясную форму изложения. И тут хотелось бы подчеркнуть напрашивающийся вывод: всесторонность развития личности — необходимая предпосылка творческого успеха в любой сфере деятельности, какой бы человек себя ни посвящал. Разные грани его активно мыслящего сознания, разные развитые способности, разные «ипостаси» его социальной сущности взаимно дополняют и взаимно усиливают друг друга, выводя развитие его ума на необычайные высоты, позволяющие решать задачи, недоступные узким специалистам. Вот почему Чижевский столь смело перебрасывал мосты между, казалось бы, не связанными друг с другом явлениями природы, вскрывал закономерности, мимо которых проходили тысячи естествоиспытателей.

В меморандуме о его научных трудах, принятом на I Международном конгрессе по биологической физике и биологической космологии в сентябре 1939 г. в Нью-Йорке, говорилось: «Гениальные по новизне идей, по ширине охвата, по смелости синтеза и глубине анализа труды поставили профессора Чижевского во главе биофизиков мира и сделали его истинным Гражданином мира, ибо труды его — достояние Человечества».

Мы с гордостью отмечаем, что этот «гражданин мира» — наш соотечественник, советский ученый, публично заявивший, что его изобретения и открытия — достояние трудового народа<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Чижевский А. Л. Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М., 1930, с. 162.

<sup>16</sup> Чижевский А. Л. Письмо Совнаркому СССР. «Социалистическое земледелие», 1931, 1 апр., № 91.

<sup>11</sup> Чижевский А. Л. Вся жизнь, с. 31—32.

<sup>12</sup> Циолковский К. Э. Собр. соч., т. IV, М., 1962, с. 87.

<sup>13</sup> Чижевский А. Л. Космические воздействия. Населенный космос. М., 1972, с. 113.

<sup>14</sup> Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976, с. 33.

## Художник науки

В. В. Байдин

Москва

В наши дни — эпоху интенсивного освоения космического пространства — неуклонно возрастает интерес к научным идеям А. Л. Чижевского, одного из основоположников космического естествознания.

Научное признание, пусть не всеобщее, но достаточно широкое, пришло к ученому еще при жизни: он являлся почетным и действительным членом более тридцати научных обществ Европы, Америки и Азии. Гораздо менее известен Чижевский другими сторонами своего удивительного по разнообразию и полноте проявлений творческого дарования.

«С раннего детства, — вспоминал Чижевский, — я страстно любил музыку, поэзию и живопись, и любовь эта с течением времени не только не уменьшалась, а принимала все более страстный характер даже тогда, когда корабль моих основных устремлений пошел по фарватеру науки»<sup>1</sup>. Будущий ученый не раз поражал близко знавших его великолепной, темпераментной игрой и талантливими импровизациями на скрипке и рояле. Он посвящал стихи Бетховену, мог без конца слушать Скрябина или Мусоргского, произведения русской оперной классики были в числе его любимых...

Рано проявилось и его влечение к живописи. Первые уроки рисования мальчик получил в 1905—1906 гг. в Париже, где тогда служил его отец, в мастерской художника Гюстава Нодье, одного из учеников знаменитого Эдгара Дега. Посещение богатейших музеев, художественных выставок, библиотек Парижа, общая атмосфера «столицы мирового искусства» помогли сформироваться и укрепить его художественным способностям.

Семья Чижевских вернулась в Россию лишь в 1910 г. и вскоре поселилась в Калуге. Здесь спустя несколько лет произошло знакомство Александра с К. Э. Циолковским, который поразил юношу своим «огромным, монументальным знанием и необычайной, пронизывающей интуицией»<sup>2</sup>. Не-

сомненно, влияние основоположника научной теории космоплавания помогло Чижевскому приняться за многолетнюю титаническую работу по созданию своих обобщающих космологических теорий. В 1915 г., участь в Московском археологическом институте, он выступил в его стенах со студенческим докладом на весьма неожиданную для историка тему: «Периодическое влияние Солнца на биосферу Земли».

Но именно с середины 1910-х годов Александра начинает все более захватывать стихия поэзии. Осенью 1915 г. в Московском литературно-художественном кружке, объединявшем цвет московской творческой интеллигенции, он заводит свои первые литературные знакомства. Среди тех, кто высоко отзывался о поэтическом творчестве Чижевского, были В. Я. Брюсов, И. А. Бунин и др. В юношеских стихах восторженного «солнцепоклонника» наряду с мотивами любовной лирики и модного «декадентства» уже билась зрелая философская мысль:

Для нас едино все: и в малом и в большом,  
Кровь общая течет по всей Вселенной...

В том же стихотворении, обращаясь через тысячелетия к великому античному мыслителю, врачу и экспериментатору Гиппократу, Чижевский писал:

Мы дети космоса. И наш родимый дом  
Так спаян общностью и неразрывно  
прочен,  
Что чувствуем себя мы слитыми в одном,  
Что в каждой точке мир — весь мир  
сосредоточен...  
И жизнь — повсюду жизнь в материи  
самой.  
В глубинах вещества — от края и до края  
Торжественно течет в борьбе с великой  
тьмой.  
Страдает и горит, нигде не умолкая.  
(«Гиппократу», 1915)

Космические и солярные мотивы с ранних лет пронизали все поэтическое творчество Чижевского. Со временем еще более ощутимыми в нем становились традиции философской лирики Гете, Державина,

<sup>1</sup> Чижевский А. Л. Вся жизнь. М., 1974, с. 13.

<sup>2</sup> Там же, с. 24.

Тютчева, Вл. Соловьева, а позже — Заболоцкого. Правда, отдавая дань времени, в 1917—1919 гг. он пишет несколько футуристических стихотворений и знакомится с некоторыми поэтами-футуристами. Ближко сходитя с Маяковским и особенно — с поэтом-математиком С. П. Бобровым. В те годы Чижевский ведет жизнь «истинного» поэта. Посещает богемные кафе Москвы и Петрограда «Бродячая собака», «Стоило Пегаса», «Домино», с увлечением участвует в многочисленных любительских спектаклях и надолго устанавливает дружеские отношения с актерами, писателями, музыкантами, художниками...

В 1919 г. в Калуге выходит в свет сборник, содержащий около трехсот ранних поэтических произведений Чижевского, — «Тетрадь стихотворений 1914—1918 гг.»<sup>3</sup>. Чуть раньше там же публикуется датированный январем 1918 г. своеобразный эстетический манифест Чижевского «Академия поэзии». В этой брошюре содержался один из многочисленных в послереволюционной России проект небывалого всенародного учреждения, в котором «поэты... объединяются для общего плодотворного труда»<sup>4</sup>, а все желающие смогут получить «академическое» литературно-художественное образование по грандиозной учебной программе. В эту программу в числе 60 предметов автор предложил ввести «физику, химию (и философию химии), геологию, биологию, космографию, космологию»<sup>5</sup>. Можно по-разному относиться к этому вряд ли осуществимому проекту. Но, оставаясь документом удивительной эпохи, он не теряет и биографического значения, служит одним из свидетельств поистине «возрожденческого» духовного универсализма Чижевского, сумевшего в собственной жизни блестяще воплотить свой юношеский идеал.

В теоретическом введении к проекту «Академии поэзии» автор кратко сформулировал важнейшие положения своей эстетики, сходной с теориями «научной поэзии» Валерия Брюсова и Рене Гиля или «точной эстетики» Поля Валери. «Поз-

зия... есть постигнутая истина»<sup>6</sup>, — утверждал Чижевский и далее уточнял: «Задача поэзии вполне аналогична задачам науки — свести разнообразные явления действительности к возможно меньшему числу обобщений»<sup>7</sup>.

Поэзия познания, философская «лирика мысли» призывается автором на смену поэтизации декадентских «чувств» — хаоса частных человеческих переживаний, неизбежно сужающих горизонты творчества. Истинная поэзия в его представлении является вместилищем высшей формы сознания, «могущей охватить всех своим интуитивным откровением о Вечности...»<sup>8</sup> Эстетический трактат Чижевского и его поэтическое творчество 1910—1920-х годов находятся в определенной близости к произведениям постсимволистского этапа развития русской философской лирики — «космической» поэзии Брюсова, Волошина, А. Белого...

В своей дальнейшей деятельности, вскрывая то тут, то там неожиданные парадоксальные взаимоотражения искусства в науке и науки в искусстве, Чижевский оказывался подлинным «художником науки». Для него эстетический критерий художественности и научный критерий истинности были взаимодополняющими. Одним из удивительных качеств ученого-гуманиста было полное единство научного познания с «эстетическим восхищением».

В 1920 г. Чижевский был назначен Брюсовым и Вяч. Ивановым на должность председателя Калужского подотдела ЛИТО Наркомпроса. Но жизни поэта он вскоре окончательно предпочел жизнь ученого-естествоиспытателя. Проводившиеся им уже в течение нескольких лет регулярные наблюдения за периодическими изменениями солнечной активности, обширные исследования в области истории наук и «историометрии», а также одобренные знаменитым С. Аррениусом эксперименты по изучению воздействия разнополярных ионов воздуха на живой организм стали приносить удивительные результаты, словно подтверждающие заветные поэтически-художественные «прозрения» Чижевского.

Одни и те же темы единства, «родства» человека и космоса, Земли и Вселенной пронизывают его научные и художественно-философские произведения. И в тех и в других происходит обнаружение и мельчайших и бесконечно грандиозных рит-

<sup>3</sup> Писать стихи Чижевский начал в возрасте 9—10 лет, и его первым поэтическим сборником явилась отпечатанная на средства автора в Калуге (в типографии С. Б. Шимановского) в 1915 г. очень малым тиражом книжка с несколькими десятками юношеских стихотворений 1913—1915 гг. (Чижевский А. Л. Стихотворения, 1914, Калуга, 1915).

<sup>4</sup> Чижевский А. Л. Академия поэзии. Калуга, [1918], с. 27.

Там же, с. 29—30.

<sup>6</sup> Там же, с. 12.

<sup>7</sup> Там же, с. 13.

<sup>8</sup> Там же, с. 12.

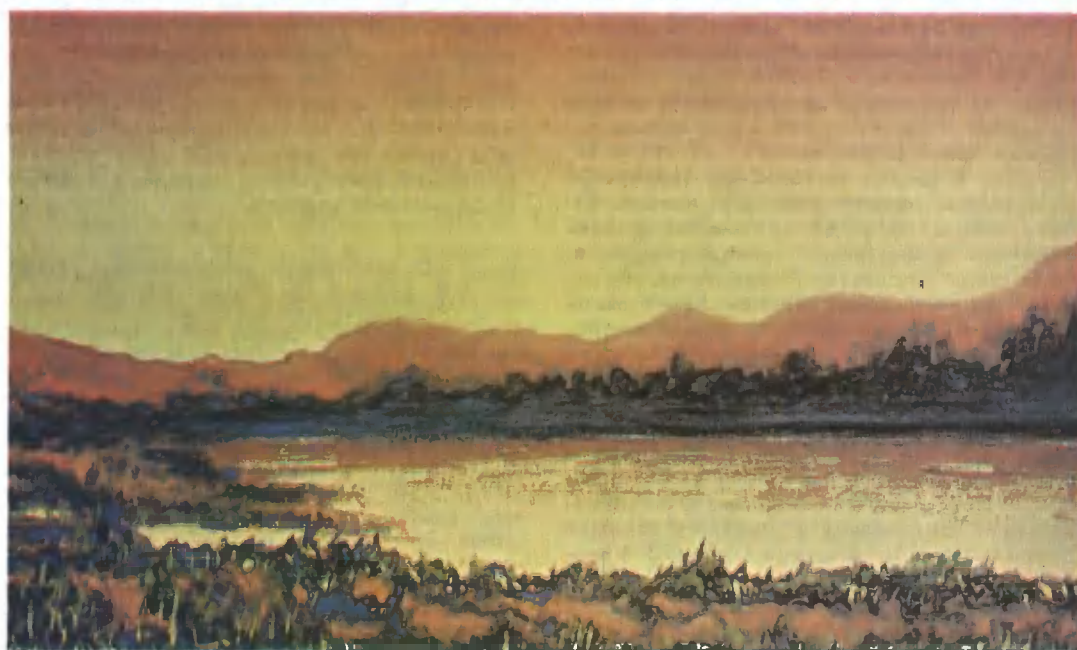


**А. Л. Чижевский за мольбертом. Кратово.  
Фото 1939 г. Публикуется впервые.**



Акварели А. Л. Чюковского  
1940—1950-х годов.  
Из собрания Н. В. Чюковской.





мов общемировой жизни. Черты поэтического «гилозоизма», характерные для стихов Чижевского, свойственны и его живописным работам.

Даже беглое знакомство с этими рисунками убеждает, что они имеют несомненную и вполне самостоятельную художественную ценность. Тем более важно понять, какое место в жизни ученого занимало изобразительное творчество. По воспоминаниям его жены, Нины Вадимовны Чижевской, он принимался рисовать «по памяти», как только выдавалось свободное время, а иногда даже прерывал научную работу для очередного, внезапно возникшего рисунка. Занятий живописью, как и поэзией, музыкой, Чижевский не оставлял почти до конца своей жизни. Последние по времени стихотворения и рисунки относятся к концу 50-х годов. Всего в течение полувека ученым было создано несколько сот стихотворений и около двух тысяч законченных живописных произведений в самой разнообразной, по преимуществу смешанной технике: от масла и темперы до акварели, гуаши, пастели, рисунков цветными карандашами. Из них сохранилась лишь малая часть — около четырехсот акварелей в основном периода 40—50-х годов. Все они почти без исключения навеяны впечатлениями от природы средней полосы России, Урала, Северного Казахстана.

Сам Чижевский своим рисункам, казалось, не придавал серьезного значения. С присущей ему иронией он впоследствии вспоминал о начальном периоде своего живописного творчества: «Картины я писал по памяти, большие; по полтора-два метра в длину, яркие, иногда даже удачные, но почти всегда с дорогим моей душе легким оттенком импрессионизма...»<sup>9</sup>

Но в целом живописное творчество Чижевского нельзя называть импрессионистическим. Некогда прилежный ученик поздних французских импрессионистов, почитатель творчества Клода Моне, он никогда не писал «на пленэре». Как в своей поэзии, так и в живописи он стремился передать не столько эмоциональное, сколько интеллектуальное впечатление от увиденного. Импрессионизм как способ восприятия действительности был по существу ему чужд. Все его творчество в живописи и поэзии — творчество ученого — было осмыслением мира, а не внешним его изображением. Этот подход к искусству сближал Чижевского с традициями русского фило-

софского пейзажа XIX—XX вв., со школой А. И. Куинджи и московских «голуборозовцев», с Н. К. Рерихом, о произведениях которого он очень высоко отзывался. Это объясняет и еще одну особенность живописных работ ученого — его исключительную приверженность к пейзажу.

Д. И. Менделееву принадлежит глубокое замечание, относящееся ко всему жанру пейзажной живописи. Размышляя о картине Куинджи «Ночь на Днепре», он писал в 1880 г.: «...Века наши будут когда-нибудь характеризовать появлением естествознания в науке и пейзажа в искусстве... Бесконечное, высшее, разумнейшее, божественное и вдохновляющее нашлось вне человека, в понимании, изображении, изучении и образе природы.»<sup>10</sup> Именно «натурфилософское» начало влекло Чижевского к пейзажам. Пейзаж воспринимался им как художественная модель природы — в нем, как и в природе, гармонически уравновешиваются и находят свое образное выражение стихийные силы космоса и состояния человеческой души, проходит зыбкая грань между живой и неживой материей, осуществляются чуткие небесно-земные связи.

Интуиция поэта и художника воспринимается Чижевским как стихийно-природное начало в человеческом сознании, способное открыть всем остальным его сторонам и способностям путь к познанию высших истин. С ее помощью осуществляется связь сердца и ума и устанавливаются «крепчайшие узы родства» между отдельными частями «великолепного здания мира»<sup>11</sup>. Поэтому так ценит интуицию Чижевский. В его своеобразной «философии пейзажа» видимый глазом художника или поэта мир предстает как малая часть воспринимаемой «внутренним зрением» ученого бескрайней Вселенной:

...О присмотрись внимательней к Земле  
И грудью к ней прильни всецело,  
Чтоб снова в зеленеющем стебле  
Исторгнуть к Солнцу дух и тело.  
В тревожных человеческих сердцах  
И в нежной немоте растений  
Восходит к жизни придорожный прах,  
Сверкая в бездне воплощений...  
(«Вещество», 1921)

<sup>10</sup> Менделеев Д. И. Собр. соч., т. 24, М., 1954, с. 248.

<sup>11</sup> Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976, с. 35.

<sup>9</sup> Чижевский А. Л. Вся жизнь. с. 58.



Это «перевоплощение» начал жизни в веществе мира стремился запечатлеть Чижевский и средствами пейзажной живописи. Есть особая притягательная сила в небольших по размеру, а часто и вовсе миниатюрных рисунках Чижевского, исполненных на обычной бумаге самыми дешевыми и доступными материалами. Тонко проложенные слои светоносной акварели, беглые мазки темперы или гуаши, уверенная и легкая прорисовка цветных карандашей — все вместе позволяет проявиться в рисунке пространству и движению мира, сложнейшим в природе связям.

Живописные работы Чижевского, если их рассматривать все вместе, могут восприниматься как особое научно-художественное «описание» природного мира со всеми оттенками его состояний: от полного зачарованного покоя, умиротворенности всех линий и цветов («Спустился туман», 1945; «Залито луною», 1944; «Начало весны», 1945) до бурного всплеска жизненной активности, взрыва всех красок, динамики линий («Игра света», 1941; «Буйство осени», 1945; «Жаркий день», 1946).

Особенность Чижевского-художника проявляется в серийности, цикличности создаваемых им живописных работ. При таком рассмотрении бросается в глаза несоизмерно малое количество зимних пейзажей, что может быть объяснено резким снижением зимой в средних широтах активности биосферы.

Внимание импрессионистов к тончайшим колебаниям световоздушной среды, к непрерывной смене состояний природы, связанных с движением над Землю «державного светила», сближало с ними Чижевского-художника. Его завораживала «солярная эстетика», эстетика света и его непрекращающихся вибраций, ежесекундно преобразующих весь видимый мир. В каждый отдельный момент раскрывающийся перед глазами пейзаж оказывался мгновенно запечатленной в веществе энергии космоса. Уже упоминавшиеся слова Чижевского о «легком оттенке импрессионизма» в его живописных работах, надо думать, были связаны с тяготением к творческому методу импрессионистов, позволявшему запечатлеть эти моментальные изменения в окружающем мире. То же в стихах:

Трепещет полумрак. Жемчужный свет  
небес.

Как паутина сон. Овраги и поляны  
Еще наполнены виденьями чудес.  
Деревья и кусты одушевленно-странны.  
Как запоздала ночь! Не поймана едва!

Мистерия идет и совершает в дреме  
Свои деяния. Проснулась лишь листва  
И терпким трепетом тревожно будит  
время.

(«Начало рассвета», 1943)

Не только поэзия и живопись, но и научное творчество Чижевского в основе своей музыкально. Он старался выразить сложнейшую ритмику мировых процессов средствами математической статистики, научного эксперимента, исторического исследования, поэзии, живописи... В стихах, рисунках Чижевский пытался уловить ускользающую от научного анализа «мелодию жизни».

Живопись, пожалуй, в наибольшей степени была сродни его самоабвенным импровизациям на скрипке или рояле. Такой способ словесного или цветового «письма» неизбежно порождал элементы эскизности, изящной незавершенности его композиций, придавал им особую легкость и музыкальную подвижность.

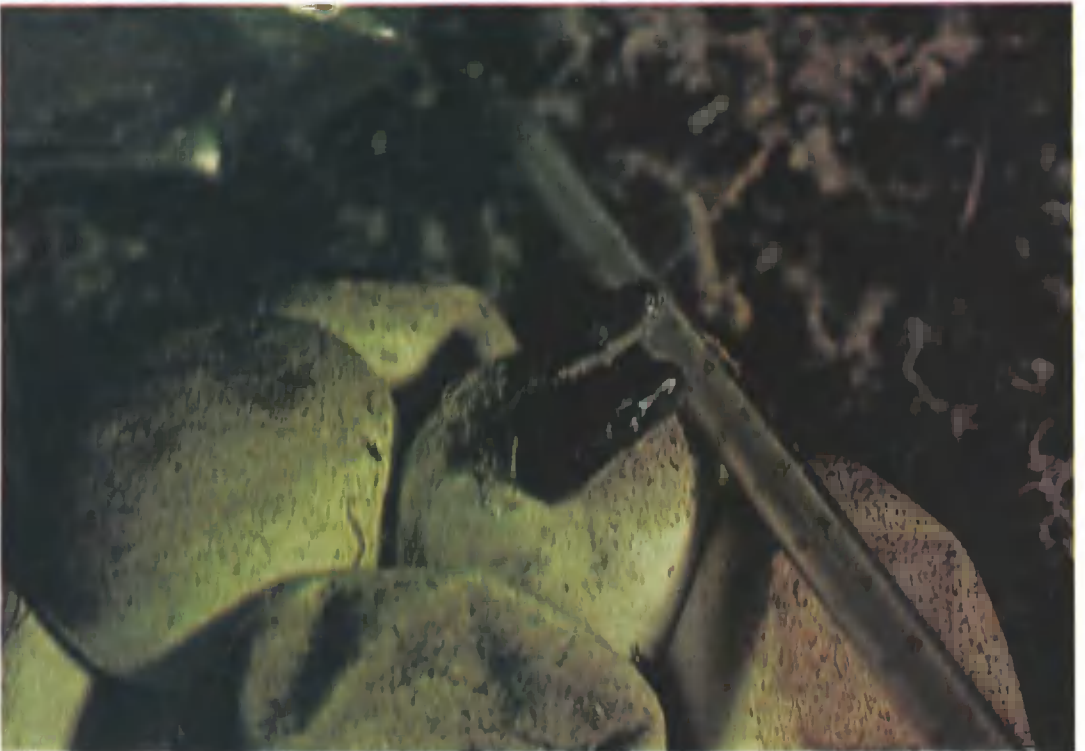
Воспринимаемые неотрывно от всей жизни и деятельности Чижевского, его поэтические и художественные произведения способны стать своеобразным введением в творческую лабораторию выдающегося представителя советской науки.

Знаменитому советскому физику члену-корреспонденту АН СССР Д. И. Блохинцеву принадлежит одна из самых точных оценок художественного наследия Чижевского: «Многие из его акварелей просто прекрасны, другие хороши. Но, быть может, самое главное, о чем говорят эти картины... как и стихи... заключается в том, что они раскрывают перед нами образ истинно великого русского человека в том смысле, в котором он всегда понимался в России. Необходимой и неотъемлемой, обязательной чертой этого образа были не столько успехи в той или иной науке, а скорее создание мировоззрения.

Наука, поэзия, искусство — все это должно быть лишь частью души великого и его деятельности»<sup>12</sup>.

Трудно не согласиться с этим высказыванием о выдающемся ученом, вдохновенном «художнике науки».

<sup>12</sup> Блохинцев Д. И. Запись в Книге отзывов о выставке рисунков А. Л. Чижевского в Доме ученых г. Дубны (ноябрь 1974 г.).





## Разведение змей в террариуме

Н. Л. Орлов



Николай Люцианович Орлов, старший лаборант лаборатории орнитологии и герпетологии Зоологического института АН СССР. Область научных интересов — биология, разведение и охрана рептилий.

«Если мы допустим исчезновение рептилий, это будет признаком того, что мы готовы расстаться со всей живой природой. А если это произойдет, мы уже не сможем быть прежними людьми»<sup>1</sup>.

Да, действительно, уже настало время позаботиться о существах, к которым человек всегда испытывал суеверный ужас. Неоправданное невежественное отношение к рептилиям и по сей день стоит жизни многим из них. В массовом количестве рептилий уничтожают для получения змеиного яда, крокодиловой и питоньей кожи и т. д. Кроме того, в хозяйственной деятельности человека часто создаются такие ситуации, при которых невозможно сохранить в неприкосновенности места обитания животных; особенно опасно это для узкоареальных видов. В результате численность змей в природе сокращается, а многим видам уже грозит истребление.

Спасение рептилий, имеющих промысловое значение, очевидно, в устройстве

специальных питомников, подобных созданным на Кубе и в Австралии. Там на крокодиловых и черепаших фермах уже много лет содержатся многочисленные «стада» этих пресмыкающихся и массовое истребление их в природе прекратилось. А сохранность редких видов может быть обеспечена их разведением в искусственных условиях в террариумах зоопарков и научных центров. Здесь к тому же удобно изучать интимные аспекты биологии этих животных, что крайне редко, а иногда и просто невозможно сделать в природе.

Опыт по разведению пресмыкающихся в неволе еще очень незначителен. В существующих змеепитомниках змей содержат лишь некоторое время для получения от них яда, а затем выпускают в природу или выбраковывают. Большая работа по содержанию и разведению рептилий ведется в Московском и Ленинградском зоологических парках и некоторые успехи уже достигнуты. Каждый случай целенаправленного и продуманного разведения змей в искусственных условиях представляет сейчас большой интерес.

### РАЗМНОЖЕНИЕ ПИТОНОВ

Питоны весьма разнообразны не только по размерам — от 50 см (*Liasis pertensis*) до 8—10 м (*Python reticulatus*), — но

<sup>1</sup> Карп А. Рептилии. М., 1975, с. 173.

Самка новогвинейского питона насиживает яйца.

Однояйцевые близнецы новогвинейского питона.

и по образу жизни. Одни из них обитают на деревьях (*Chondropython viridis*), другие приспособились к роющему (*Calabaria reinhardtii*) или полуводному образу жизни (*Liasis albertisi*, *Python curtus*). Населяют питоны южную и западную части Африканского континента, Юго-Восточную Азию, Индо-Австралийский архипелаг и Австралию. Везде они встречаются редко, и потому многие занесены в Международную Красную книгу или охраняются специальными региональными или международными соглашениями.

В 1977 г. автор этих строк начал разводить очень малочисленных в природе питонов: королевского (*Python regius*)—обитателя экваториальной западной Африки, и новогвинейского (*Liasis macklotii*). Работа велась в Зоологическом институте АН СССР, в Ленинградском зоопарке и в домашних условиях.

Анализируя имеющуюся по разведению питонов литературу<sup>2</sup> и используя свой собственный опыт, мы пришли к выводу, что при подготовке рептилий к размножению необходимо соблюдать следующие условия:

1) облучать половых партнеров ультрафиолетом, добавлять в пищу витамины и максимально разнообразить диету;

2) содержать самцов и самок раздельно;

3) соблюдать суточный режим, поддерживая соотношение светового дня и ночи и динамику температуры и влажности, близкие к природным;

4) использовать «глубокое» охлаждение, т. е. понижать ночную температуру в террариуме до 21—22°C (в другое время обычно поддерживается температура 26—27°C);

5) создать численное преимущество самцов: это стимулирует их сексуальную активность и фертильность самок;

6) подсаживать к самцам самку, а не наоборот, поскольку пересадка может вызвать дискомфортное состояние, при котором брачное поведение самца легко нарушается.

Для работы мы отобрали самку королевского питона длиной 150 см и двух самцов (по 120 см каждый) и поселили самку отдельно от них. Днем в террариумах (100×60×50 см) поддерживалась температура 27—31°C и относительная влажность 80—90%. Световой день длил-

ся 14 часов. С мая по август змеи «принимали» солнечные ванны по 40—50 минут один раз в 5 дней, а в августе-октябре питонов облучали ультрафиолетом от искусственного источника. В террариумах имелись водоемы с теплой водой (30°C), и питоны охотно купались. Диету змей составляли мышевидные грызуны и мелкие воробьиные птицы, кроме того, в корм добавляли витамины А, Д<sub>2</sub> и Е. Незадолго до подсаживания ночную температуру в террариумах понижали до 22°C.

Как только самку посадили к мирно живущим в одном террариуме самцам, между ними начались турнирные бои, которые иногда заканчивались драками.

Когда у самки появились явные признаки беременности, ее поместили в специально подготовленную инкубационную камеру, дно которой было выстлано сфагновым мхом и вываренной торфяной крошкой. В камере создавали небольшой температурный градиент субстрата и воздуха. Подстилку увлажняли из пульверизатора. В этих условиях температура тела беременной самки держалась в пределах 31—32°C.

По прошествии более трех месяцев (точно установить срок беременности не удалось, так как брачный период сильно растянут; приблизительно же она составляет 120—140 дней) самка отложила 8 яиц (75—80×55—60 мм), которые раз в 10 дней облучали ультрафиолетом в течение одной минуты. Пирамиду яиц самка заботливо сберегала, обернув кольцами тела.

Ни у кого не вызывает удивления материнская забота птиц и млекопитающих о своем потомстве. Но, пожалуй, не многие знают, что крокодилы, ящерицы и змеи тоже способны на теплые материнские чувства. Например, некоторые сцинковые и игуановые ящерицы увлажняют грунт в том месте, куда отложили яйца, королевская кобра строит из сухих листьев гнездо и насиживает яйца, а крокодилы помогают только что вылупившимся детенышам добраться до водоема. И если теплые материнские чувства крокодилов и ящериц — чистая метафора, то у некоторых змей эти чувства действительно горячи. Эти холоднокровные животные могут насиживать яйца подобно птицам, продуцируя тепло за счет резких мышечных сокращений<sup>3</sup>. Питоны, например, способны

<sup>2</sup> Murphy J. B., Barker D. G., Tryon B. W. — J. Herp., 1978, v. 12, p. 385; Ross R. — Herpetofauna, 1980, S. 28.

<sup>3</sup> Hutchison V. H., Dowling H. G., Vinegar A. — Science, 1966, v. 151, p. 694; Vinegar A., Hutchison V. H., Dowling H. G. — Zoologica, 1970, v. 55, p. 19; Van Mierop L. H. S., Barnard S. M. — Copeia, 1976, p. 398.

повышать температуру тела на 3—4° выше температуры окружающей среды. Кроме того, под кольцами тела создается необходимая для развития эмбрионов влажность. Интересно, что, насиживая яйца, змеи, по-видимому, выделяют какие-то вещества, обладающие бактерицидными свойствами: при искусственной инкубации яйца часто поражает грибковая плесень, а при насиживании плесень никогда не развивается.

До недавнего времени считалось, что инкубировать яйца могут только крупные питоны (*Python sebae*, *P. reticulatus*, *P. molurus*), но в экспериментах по разведению способность к факультативной эндотермии удалось обнаружить и у всех змей подсемейства питонов.

Насиживая яйца, самка королевского питона практически не покидала кладку, не питалась, а при высокой влажности воздуха даже не пила. При температуре ниже 30°С она плотно обвивала кладку, не оставляя никакого просвета между кольцами тела, мышцы ее конвульсивно сокращались, за счет чего температура под кольцами поднималась до оптимальной для развития зародышей. Если же температура оказывалась выше 32—33°С, заботливая мать обворачивала кладку кольцами тела только по периметру, обнажая всю пирамиду яиц. Но когда и такого проветривания было недостаточно, она периодически то смачивала яйца, ложась на них сразу после купания, то открывала кладку, охлаждая ее таким способом.

Во время насиживания самка нередко становилась агрессивной, если мы пытались сфотографировать ее. Несомненно, что крупный яростно кусающийся питон может защитить свое будущее потомство от многих врагов.

На 69-й день насиживания началось прорезание яиц. Когда наблюдаешь за кладкой во время прорезания, кажется, что кто-то внутри яйца делает резкие движения лезвием безопасной бритвы: на яйцах вначале появляются аккуратные разрезы, а затем показываются головы новорожденных и трепещущие языки.

Интересно, что все яйцекладущие животные (рептилии, птицы и однопроходные млекопитающие) в конце эмбриональной жизни вооружены специальным приспособлением для разрыва твердой оболочки яйца. Есть два типа таких структур: яйцевые бугорки (образования эпидермиса) — у птиц, клювоголовых, черепах и крокодилов и яйцевые зубы — у ящериц, змей и амфисбен. Яйцевой зуб имеет

гиперболические в сравнении с другими зубами размеры, находится он на предчелюстной кости и острием с тонкими режущими краями направлен вперед. Этот зуб выполняет единственную функцию и работает только один раз в жизни; у родившихся змей он разрушается через несколько суток.

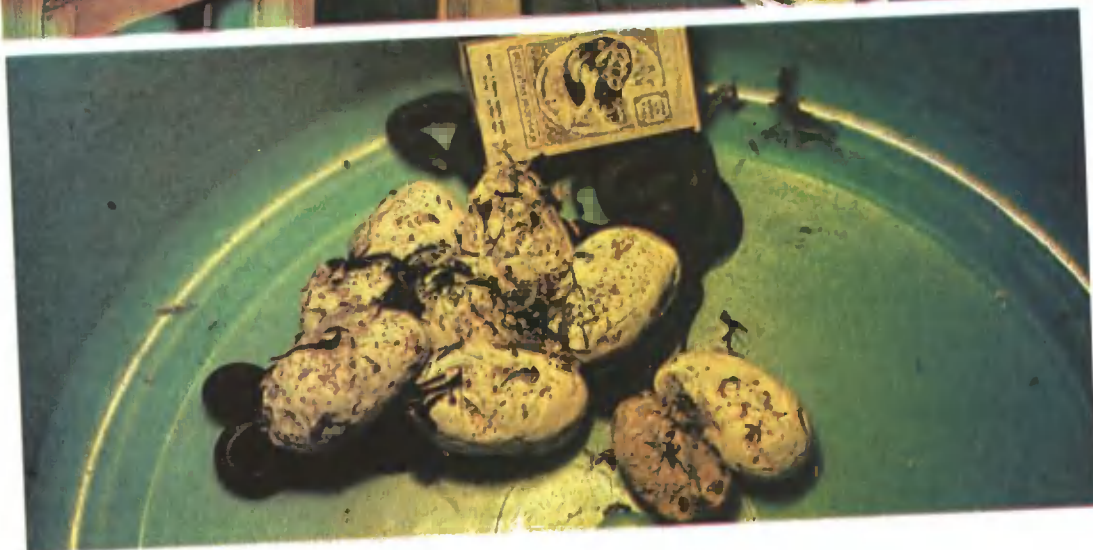
Новорожденные королевские питоны весили в среднем 46 г при средней длине тела 425 мм. Через 10 дней после первой линьки маленькие змеи уже активно питались десятиграммовыми мышами и в месячном возрасте весили около 115 г. Питонам, родившимся в террариуме, сейчас уже 4 года, в мае у них появилось потомство.

В 1981 г. мы повторили опыт по разведению питонов, взяв в этот раз самку очень редкого в природе новогвинейского питона и двух самцов. В мировой практике известны лишь единичные случаи искусственного разведения питонов этого рода (*Liasis*). Условия подготовки к размножению были такими же, как и для королевских питонов. На 110—120 день после подсаживания самки к самцам она отложила 17 яиц и заболела о своем будущем потомстве. На 67-й день из 10 яиц появились новорожденные змеи около 30 г весом и 50 см длиной. На этот раз, кроме радости по поводу удачного размножения редчайшего питона, нас ожидал сюрприз: из одного яйца прорезались сразу две головы. Рождение однойяцевых близнецов — уникальное явление у змей. По размеру и весу близнецы практически не отличались от своих братьев. На 8—9-й день все молодые питоны поменяли кожу и стали самостоятельно питаться новорожденными мышами.

В феврале 1982 г. новогвинейские питоны снова отложили яйца и в апреле вывелось 15 полноценных здоровых детенышей.

## РАЗМНОЖЕНИЕ ЛАЗАЮЩИХ ПОЛОЗОВ

Следующий наш эксперимент — размножение лазающих полозов. Змеи рода *Elaphe* встречаются в Северной и Центральной Америке, Южной Европе, Азии и Малайском архипелаге. Из 50 видов мировой фауны 11 обнаружены на территории нашей страны. Очень редкие виды полозов встречаются на Дальнем Востоке — *Elaphe schrenckii*, *E. japonica*, *E. climacophora*, *E. quadrivirgata*, в Закавказье — *E. hohenackeri* и в Крыму — *E. situla*.



С 1977 г. Н. Л. Орлов разводит змей дома в специально построенных для этой цели террариумах.

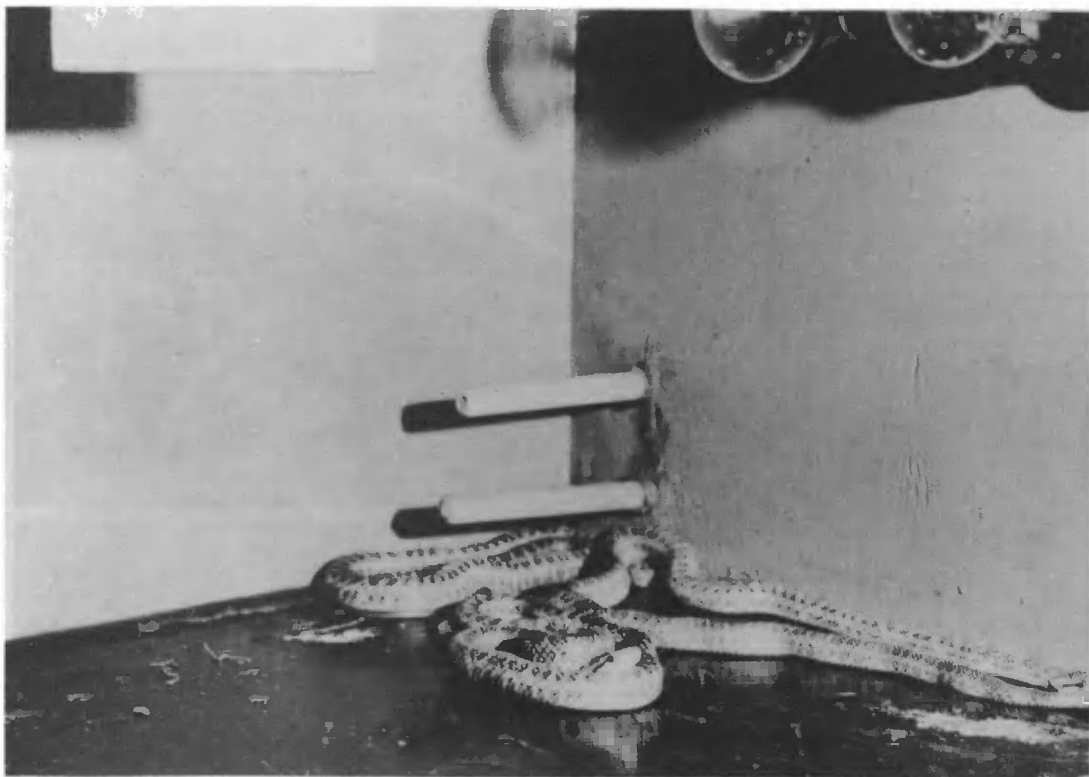
Кладка малочешуйчатого полоза.

Островной полоз в природе.

Взрослый зеленый питон — один из первых питомцев Н. Л. Орлова.

Молодой зеленый питон.





Островные полозы, выведенные в террариуме.

Большинство лазающих полозов ведут полудревесный образ жизни, их размеры колеблются от 60—70 см до 2,5—2,8 м, а окраска поразительно разнообразна: европейские эскулаповы змеи (*E. longissima*) окрашены очень скромно, а тело тропических мандариновых полозов (*E. mandarina*) расцвечено невероятно ярким замысловатым ковровым узором.

Островной (*E. climacophora*) и малочешуйчатый (*E. quadrivirgata*) полозы, ставшие объектом эксперимента по размножению в террариумах, — уникальные пресмыкающиеся. Встречаются они в СССР только на небольшом о-ве Кунашир (Курильская гряда) и живут в основном на теплых участках неподалеку от геотермальных источников. Поскольку эти полозы — жители умеренных широт, при разработке условий их размножения в неволе мы учитывали, что все их физиологические процессы, в том числе репродуктивная активность, связаны с сезонностью климата и длиной светового дня, изменяющегося по строгой закономерности в течение года. Однако, как пока-

зал опыт разведения гюрзы (*Vipera lebetina*), узорчатого и амурского полозов (*Elaphe dione*, *E. schrencki*) и тигрового ужа (*Rhabdophis tigrina*), для успешного их размножения в искусственных условиях создавать настоящую зимовку необязательно.

В ноябре 1978 г. мы отобрали одну пару малочешуйчатых и две пары островных полозов и до декабря держали их в террариумах (самцы и самки жили порознь) с дневной температурой 28—30°C при относительной влажности воздуха 70—75% и длине светового дня 12 часов. Затем постепенно световой день сократили до 6 часов и одновременно снизили температуру до 12—13°C. В январе змеи жили в камерах для зимовки, где поддерживалась температура 7—8°C и влажность 80—85%, а февраль полозы снова провели в своих террариумах. За этот месяц световой день возрос до 15 часов, а дневная температура — до 29—30°C; змей периодически облучали ультрафиолетом. Питались островные полозы грызунами, а малочешуйчатые — лягушками.

В марте мы подсадили к самцам самок, и у островных полозов сразу же начались брачные игры, а малочешуйчатая пара оставалась равнодушна друг к другу



больше двух недель. Ухаживание полозов-самцов выглядело довольно агрессивно: они быстро ползали по террариуму, гонясь за самкой, возбужденно били хвостом о подстилку и даже кусали самку. Приблизительно через 2,5 месяца после спаривания самка островного полоза отложила 4 яйца (у второй самки кладки не было), а малочешуйчатого — 8.

Наблюдая за змеями, мы обнаружили, что самке малочешуйчатого полоза тоже присуща материнская забота: 8 дней она не покидала кладку, плотно свернувшись вокруг нее. Мы пытались заснять эту трогательную и неизвестную до той поры для полозов сцену, но змее, по-видимому, это не понравилось, она стала агрессивной, а потом покинула кладку. В камере на протяжении всего инкубационного периода строго поддерживались оптимальные температура и влажность.

Из всех яиц появились молодые полозы. Детеныши малочешуйчатого полоза стали питаться самостоятельно сразу же после первой линьки, а островных пришлось кормить насильно мышатами в течение 2 месяцев.

Наблюдать жизнь змей в природе очень трудно, а их поведение в период размножения полностью скрыто от глаз исследователя. Зато при изучении рептилий в террариумно-лабораторных условиях, экспериментатору открываются многие стороны их жизни. В террариумах зоологических парков и лабораторий научно-исследовательских институтов можно не только изучать сложные вопросы биологии рептилий, в частности эмбриологии, генетики и этологии, но и создать генофонд редких рептилий. Успешное разведение змей в террариумах открывает широкие возможности для дальнейшего развития новых природных методов, один из которых — реинтродукция рептилий, разведенных в лабораторных условиях, в природу.

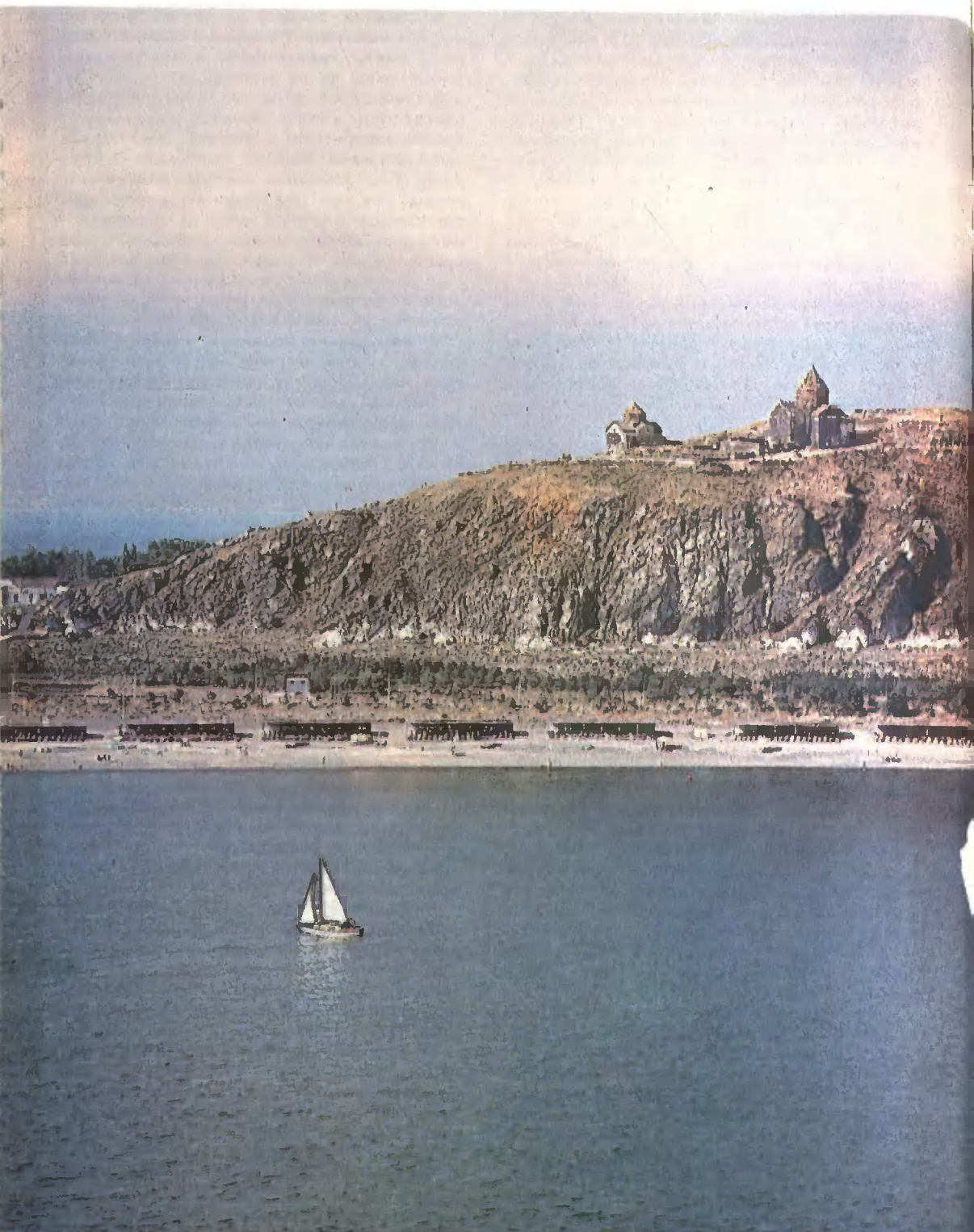
Разумеется, этот метод ни в коей мере не может заменить такую первоочередную важность природоохранную задачу, как создание охраняемых территорий и заповедников, но он может быть весьма эффективным дополнением. Редких птиц и млекопитающих разводят в неволе и взрослыми выпускают в их исконные места обитания. Новорожденных же животных выпускать из питомника нельзя: они погибнут без материнской заботы. Долгое время жизнь зверей и птиц приходится оберегать

и постепенно сводить на нет их привязанность к человеку. Реакклиматизация взрослых змей, выращенных в террариумах, также вряд ли возможна. Но ведь змеи, в отличие от птиц и млекопитающих, рождаются вполне самостоятельными и жизнеспособными, а потому 2—3-недельных рептилий можно выпускать в природу без опасения за их дальнейшую жизнь, так как они еще не успели приспособиться к искусственным условиям и обладают стереотипными реакциями, присущими данному виду, т. е. всем комплексом врожденного поведения, позволяющим новорожденным рептилиям ориентироваться и выживать в дикой природе.

Разведение ядовитых и редких змей фауны нашей страны в искусственных условиях с последующей реинтродукцией в природу может быть очень действенной природоохранной мерой. Уже сейчас многие виды нуждаются в помощи человека. Это эндемичные и исчезающие формы гадюк, обитающих на Кавказе: кавказская (*Vipera kaznakovi*), армянская (*V. raddei*) и носатая (*V. ammodytes transcaucasiana*); мелкие неизученные ужеобразные змеи Средней Азии: афганский литоринх (*Lythorhynchus ridgewayi*), изменчивый олигодон (*Oligodon faeniolatus*), полосатый волкозуб (*Lycodon striatus*), полосатый эйренис (*Eirenis meda*); уникальные лазающие полозы о-ва Кунашир: японский (*Elaphe jaronica*), малочешуйчатый и островной. Назрела необходимость искусственно разводить исчезающего в Крыму леопардового полоза (*E. situla*), который без помощи человека уже не может сохраниться в природе. Численность в природе некоторых из перечисленных змей очень сложно оценить из-за малой изученности, но, пожалуй, может случиться так, что они исчезнут раньше, чем мы составим о них четкое представление.

Конечно, создать змеепитомники с замкнутым циклом или наладить разведение в террариумах с последующим расселением рептилий в природу — дело дорогостоящее. Но несомненно и то, что ущерб от исчезновения змей обойдется человеку дороже.

Вопросу охраны рептилий герпетологи СССР уделяют много внимания. На V Всесоюзной конференции (Ашхабад, 1981) принята, наряду с традиционными охранными мерами в природных условиях, также резолюция о создании рабочей группы по разработке научных методов разведения змей в искусственных условиях. Мы надеемся, что наш опыт окажется полезным в этом деле.





## Комплексный географический подход к проблеме Севана

Г. Б. Григорян



Григор Багратович Григорян, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела географии Института геологических наук АН АрмССР. Занимается физической географией и геоэкологией горных ландшафтов, вопросами влияния антропогенного фактора на среду.

На протяжении всей истории армянского народа озеро Севан было одним из важнейших источников его жизни. С развитием экономики в Армении в годы Советской власти Севан занял ведущее место в создающейся энергетической базе и ирригационной сети республики. В результате Севанский бассейн сегодня — это район развитой промышленности, сельского хозяйства, урбанизации и туризма. Однако крупное гидротехническое строительство и хозяйственное освоение этой территории, как, впрочем, и некоторых других, привело к негативным изменениям естественных процессов в самом озере и прилегающих к нему ландшафтах. Изучение этих изменений и разработка методов борьбы с ними стали важной естественнонаучной проблемой, которая уже давно вышла за рамки республиканской и приобрела общесоюзное значение. Неслучайно проблемой Севана занимаются специалисты из многих научно-исследовательских учреждений СССР. Рассказать обо всех этих работах в рамках журнальной статьи невозможно, и мы ограничимся общим изложением проблем Севана, уделяя особое внимание комплексному географическому

подходу к их решению, разработанному сотрудниками отдела географии Института геологии АН АрмССР.

Напомним, что Севан — самое крупное высокогорное пресное озеро Кавказа (его площадь еще в 1938 г. составляла 1416 км<sup>2</sup>, а к 1980 г. уменьшилась до 1280 км<sup>2</sup>). Севан расположен на высоте около 1900 м над ур. м., в днище треугольной котловины, вытянутой с северо-запада на юго-восток между хребтами Малого Кавказа и Армянского вулканического нагорья.

Геологическая история озера восходит к миоцену (около 25 млн лет назад), когда Армянское нагорье было низменностью, большей частью покрытой водой. В более позднее время, в плейстоцене и плиоцене, вода отступила и осталась лишь в чаше нынешнего Большого Севана (части современного озера). Сама чаша образовалась еще раньше, в период Кавказского горообразования, в результате тектонической подвижки. Из этого древнего озера вода вытекала через Норадуз-Артанишскую возвышенность по руслу древнего Раздана. Постепенно русло углублялось, образуя новую котловину. Впоследствии, в результате извержения вулкана, в верховьях Раздана накопилось большое количество лавы и шлака, и русло реки оказалось перекрытым. Вода, собравшаяся

Озеро Севан — крупнейшее пресное озеро Кавказа.  
Фото А. Г. Нагальяна, В. В. Яковсона.

в новой котловине, образовала Малый Севан. Когда уровень воды в Малом и Большом Севане сравнялся, озера соединились, создав около 25 тыс. лет назад прообраз современного озера. Существуют и другие гипотезы образования озера, однако не подлежит сомнению, что запасы воды в нем, его гидродинамические, гидрохимические и гидробиологические особенности формировались на протяжении довольно длительного периода геологической истории, и с этим нельзя не считаться при попытках использования вод Севана.

Общая длина озера еще в 30-х годах составляла 75 км, береговой линии — 256 км, запасы воды — 58,5 млрд м<sup>3</sup>. Площадь юго-восточной части озера — Большого Севана — 1032 км<sup>2</sup>, его максимальная глубина 58,7 м, площадь северо-западной части — Малого Севана — 383 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 98,7 м.

В Севан впадает 28 рек и ручьев, вытекает из него только одна река — Раздан. Приходную часть годового баланса воды до снижения уровня озера составляли 1254 млн м<sup>3</sup>, из которых 524 млн м<sup>3</sup> поступали в озеро с атмосферными осадками, а 730 млн м<sup>3</sup> — с водами рек. В расходной части на долю питания Раздана и подземный сток приходилось всего 137 млн м<sup>3</sup>, а остальные 1117 млн м<sup>3</sup> уходили на испарение<sup>1</sup>.

Именно структура водного баланса озера послужила основой создания в 30-х годах плана использования вод Севана для выработки дешевой электроэнергии и орошения земель. Считали, что для сокращения непродуктивных потерь воды на испарение можно понизить уровень озера на 50 м, практически осушив менее глубокой Большой Севан. Чрезвычайно благоприятно и высотное положение Севана, воды которого давали возможность выращивать высокопродуктивные теплолюбивые культуры на маловодных низкогорных равнинах республики. Разница между высотными отметками истока и устья (так называемое падение) Раздана, составляющая 1000 м, обеспечивала получение дешевой электроэнергии.

Были запланированы и впоследствии построены 6 гидроэлектростанций на Раздане общей мощностью 557 тыс. кВт, многочисленные оросительные каналы, дающие воду более 100 тыс. га земель. Не-

сомненно, использование вод Севана явилось исторической необходимостью для экономики республики. Однако первоначальный план использования вековых запасов воды был сделан без учета экологических особенностей озера и его ландшафтного окружения, что стало сказываться на естественных процессах, происходящих в озере и прилегающих ландшафтах, довольно быстро.

В результате забора воды из Севана в Раздан через тоннель, вход которого находился на глубине 20 м от поверхности озера, уровень Севана в 1960 г. снизился на 13 м, а в 1970 г. — на 17 м (в дальнейшем падение уровня озера прекратилось). Следствием этого было, прежде всего, изменение всех характеристик водных масс Севана.

#### ИЗМЕНИВШИЕСЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ МАСС ОЗЕРА

Высокогорный резкоконтинентальный климат Армянского нагорья определял температурный режим Севана. Температура воды в открытой части озера летом у поверхности не превышала 18—20°C и понижалась с глубиной. На глубине 20—35 м располагался так называемый термоклин, где температура несколько повышалась. Однако ниже этого слоя она падала до 4,1°C. Такие температуры у дна озера были характерны для значительной части его площади. Существование этого холодного слоя, так называемого гипolimниона, было вызвано устойчивой стратификацией (расслоением) водных масс озера и его гидродинамикой, отличающейся незначительным перемешиванием водных масс и постоянством определенных конвекционных течений в различных районах озера. Зимой озеро покрывалось льдом очень редко — раз в 15—20 лет.

Из-за слабого водообмена озеро отличалось и исключительным постоянством химического состава. В течение всего года воды были богаты кислородом. Его концентрация составляла 5—11 мг/л. Из других важных особенностей геохимии Севана до понижения его уровня следует назвать низкую окисляемость, преобладание ионов магния над кальцием, щелочную реакцию воды (рН 8,8—9,0), отсутствие соединений железа, аномально высокое содержание фосфатов и т. п.

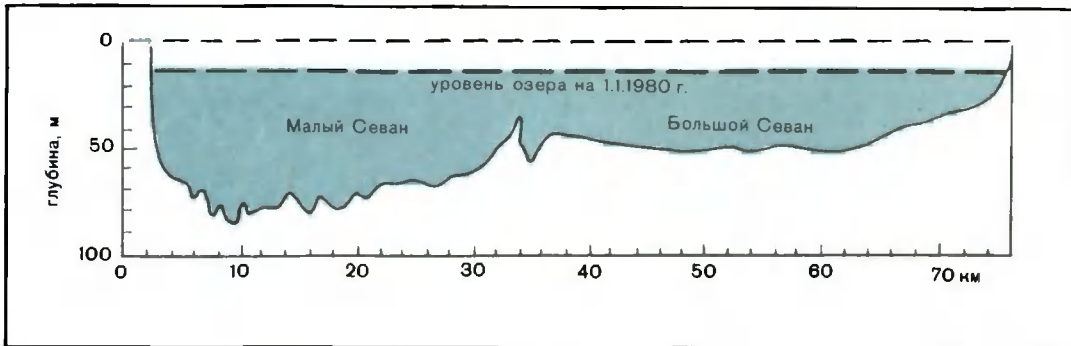
В целом озеро отличалось прозрачной, чистой, относительно холодной водой и небольшим количеством биомассы. Та-

<sup>1</sup> Баграмян Г. А. Прошлое, настоящее и будущее Севана. Ереван, 1971.

кие бедные биогенными элементами озера в озероведении принято называть олиготрофными. Главным рыбным богатством озера была реликтовая форель (ишхан), представленная в водоеме четырьмя расами. В 1924 г. Севан был заселен также сигом, ставшим в последнее время основной промысловой рыбой.

Понижение уровня озера привело, прежде всего, к нарушению устойчивой стратификации его водных масс. В Большом Севане вода летом прогревается до дна и слой холодной воды

200—300 мг/л, то в последние годы она превышает 500 мг/л<sup>3</sup>. Более всего выросла биомасса фитопланктона в летнее время — в основном за счет диатомовых и синезеленых водорослей, регулярно с 1964 г. вызывающих цветение воды. Средняя масса фитопланктона увеличилась с 40-х годов от 100 до 1225 мг/л. С середины 50-х годов в составе пелагического комплекса фитопланктона появилось до 20 новых видов водорослей. В 3,5 раза увеличилась масса зообентоса, а его состав стал гораздо богаче, особенно в Большом Севане.



Вертикальный разрез озера Севан по линии р. Дзыхнагет — Цован.

перестал существовать. Процессы разложения органических донных фракций илов начали идти более интенсивно, что привело к дефициту кислорода в придонных слоях в конце лета и осенью. По мере понижения уровня озера илы из прибрежной зоны стали проникать в его периферическую часть, поскольку идет их размыв и снос в глубь водоема. Озеро все чаще покрывалось зимой льдом, а с 1971 г. замерзает ежегодно. Подо льдом развивается обратная температурная стратификация воды: в поверхностных слоях температура близка к нулю, а в придонных слоях составляет около 2,3°C. В результате этих изменений происходит интенсивное перемешивание воды в озере.

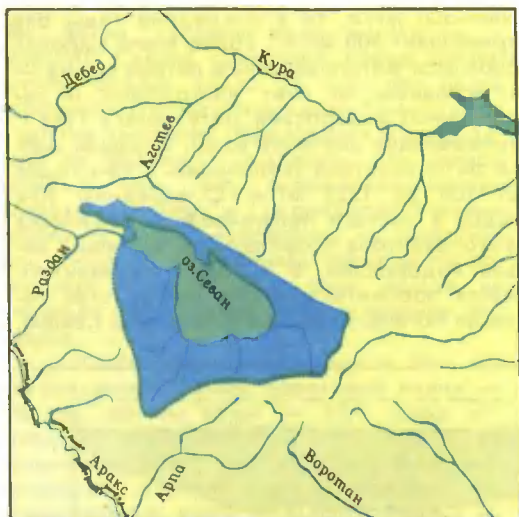
Нарушение гидродинамических особенностей озера и физико-химических свойств воды сказалось на биологических характеристиках водоема: количественном и качественном составе фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. Если еще в 40-х годах средняя биомасса в озере составляла, по данным Г. М. Мешковой<sup>2</sup>,

При этом доминантными видами оказались формы, связанные с высоким содержанием в грунтах органических веществ. Все эти признаки свидетельствуют об интенсивном процессе трофирования озера, т. е. о его переходе из олиготрофного в эвтрофное состояние (эвтрофными называют озера, богатые биогенными элементами). С процессом эвтрофикации связано ухудшение качества воды, уменьшение его прозрачности, сокращение количества ценных пород рыбы. Нужно огорчиться, что все изменения режима озера более всего проявляются в Большом Севане.

Итак, основной причиной ухудшения экологии Севана является понижение его уровня; усилив перемешивание вод оно вызвало и перестройку динамики биогенных процессов. Избавиться от этих процессов отчасти можно, прежде всего подняв уровень озера. По подсчетам сотрудников Севанской биологической станции АН АрмССР, уровень Севана должен быть поднят минимум на 5—7 м. Это на 2 м выше уровня, при котором интенсифицировался процесс эвтрофикации озера.

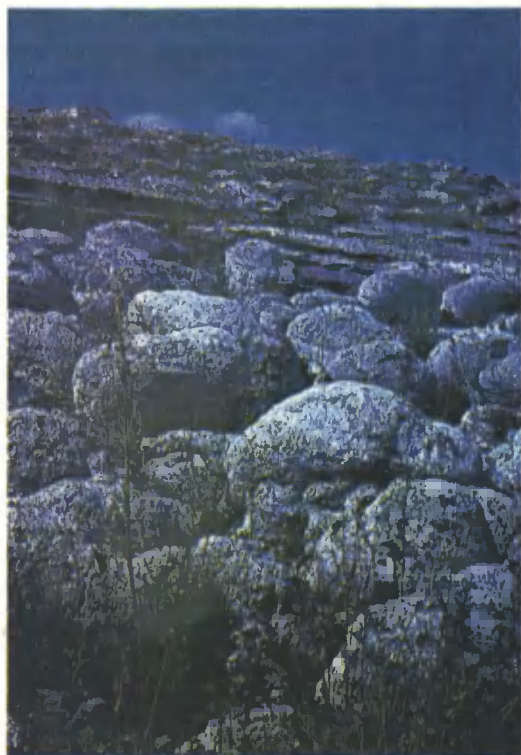
<sup>2</sup> Мешкова Г. М. — Биол. ж. Армении, 1976, № 7, с. 18.

<sup>3</sup> Тр. Севанской гидробиологической станции АН АрмССР, 1979, т. XVII.

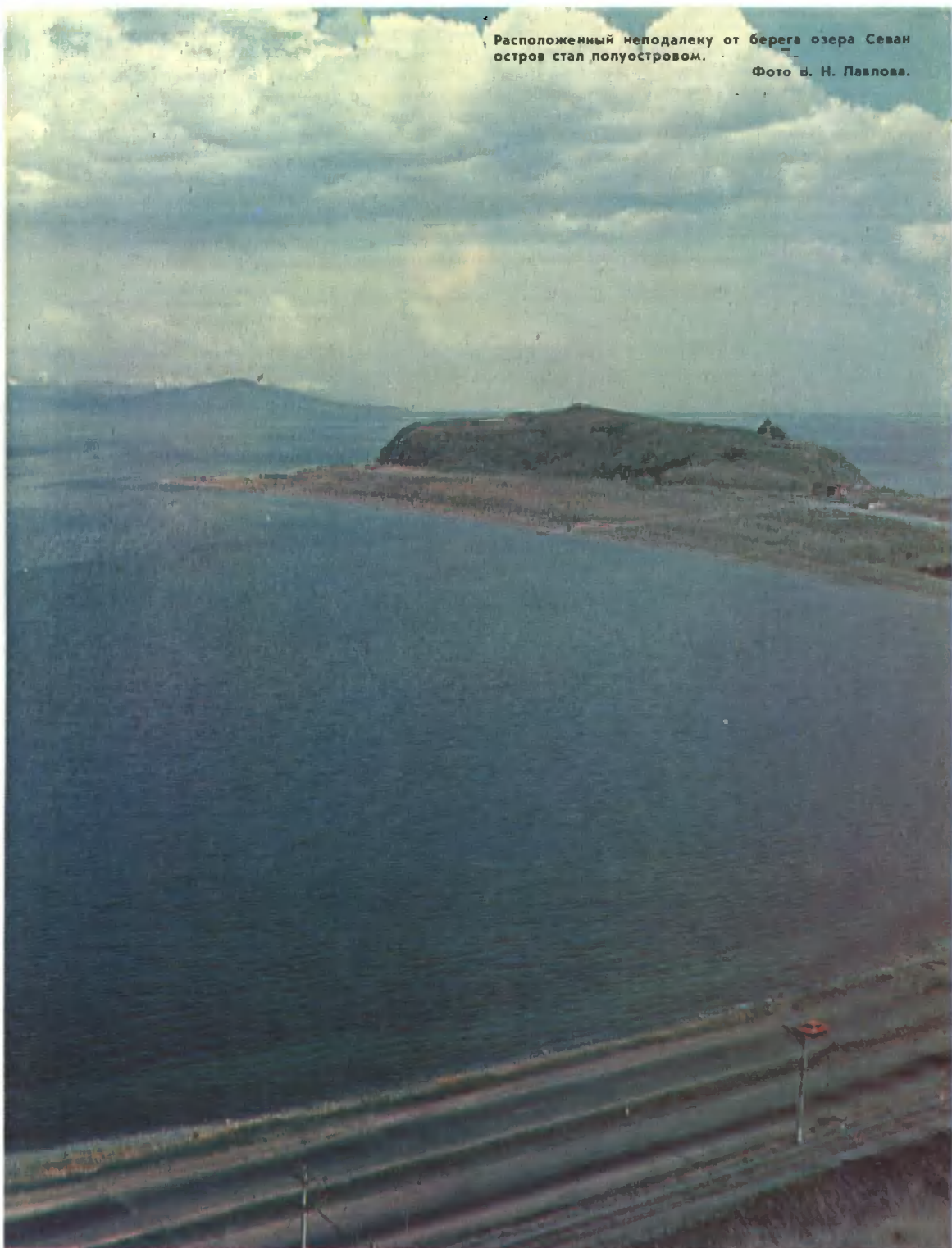


Бассейн озера Севан [Севанская котловина].

В результате понижения уровня воды в озере во многих местах обнажилось его каменистое дно.  
 Фото Л. А. Филимонова.



Расположенный неподалеку от берега озера Севан остров стал полуостровом.  
Фото В. Н. Павлова.



## ВОДА ДЛЯ СЕВАНА

Попытки стабилизировать уровень Севана были сделаны еще в 50-х годах, когда начался процесс эвтрофикации озера. В 1958 г. было отменено строительство трех ранее запланированных ГЭС на Раздане и сокращен расход воды из озера для орошения. Построенные в республике водохранилища и насосные станции позволили использовать для этих целей воды Мецамора и других рек. Часть энергии, вырабатываемой ранее гидроэлектростан-

волит поднять уровень Севана на требуемую экологами величину. Кстати сказать, при поднятии уровня Севана на 5—7 м не будет затоплена концевая часть уже построенного тоннеля Арпа—Севан.

Поступление слабоминерализованных (до 150 мг/л) вод из Арпы и Воротана, дренирующих ландшафты, идентичные с вулканическими ландшафтами бассейна Севана, не только не испортит, но даже улучшит качество озерной воды. В настоящее время она содержит много соли и имеет щелочную реакцию. Таким образом,

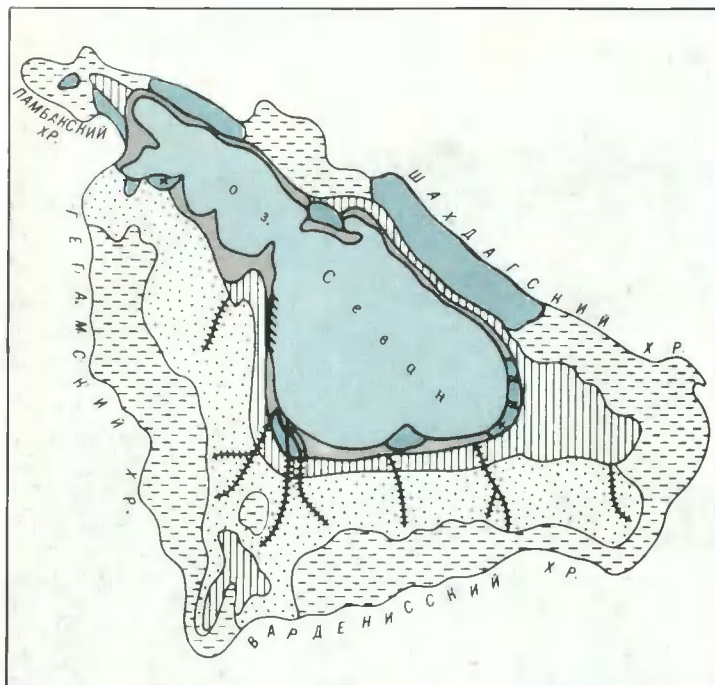


Схема использования территории Севанской котловины.

- Заказники с их использованием для рекреации (без застройки)
- Резерваты с заповедным режимом
- Рекреационные угодья
- Сельскохозяйственные угодья:
  - с интенсивным использованием без применения удобрений и химических методов защиты культур
  - с интенсивным использованием и применением удобрений в регламентированных количествах
  - с регламентированным использованием
- Норадусский тектонический сброс (геологический заказник)
- Каньоны и ущелья лавовых плато (рекреационные зоны)

циями Севано-Разданского каскада, теперь дают построенные в республике тепловые и атомная электростанции. Однако в последние годы возросли потребности в севанской воде для нужд промышленности и коммунального хозяйства. Севан становится источником водоснабжения Еревана и других населенных пунктов республики. Поэтому встал вопрос об увеличении притока воды в озеро. Был построен 48-километровый тоннель, позволивший перебросить часть стока из верховьев р. Арпы. Через этот тоннель в озеро поступает 250 млн м<sup>3</sup> воды в год. Намечается и переброска воды из таких рек, как Гергер, Воротан, Гетик, Дебед и Агстев, — они могут дать озеру около 350 млн м<sup>3</sup> в год. Осуществление этих проектов поз-

с поднятием уровня Севана будут достигнуты две цели: улучшатся общие экологические условия озера и качество его воды.

В то же время необходимо прекратить сброс в озеро сточных вод, лишь часть из которых ныне подвергается очистке. Если очищать даже все 100% сточных вод, их попадание в озеро будет в какой-то мере изменять минеральный состав воды. Мнение специалистов таково: необходимо строить кольцевой коллектор, выводящий сточные воды за пределы бассейна Севана.

Итак, первоочередная задача — повысить уровень озера и улучшить его качество. Однако этого недостаточно. Комплексное решение проблемы Севана включает и рациональное использование при-





Рукотворные леса окружают Севан со всех сторон.  
Фото Г. Б. Григоряна.

родных ресурсов его бассейна, в первую очередь — окружающих наземных ландшафтов, от состояния которых также зависит состояние вод озера.

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ СЕВАНСКОГО БАСЕЙНА

Именно это аспект проблемы отмечается в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по охране и рациональному использованию природных ресурсов озера Севан», принятом в сентябре 1978 г. С этой целью коротко

рассмотрим природно-ландшафтную ситуацию Севанской котловины и комплексы необходимых природоохранных мероприятий.

Уже отмечалось, что водосборный бассейн Севана представляет собой типичную замкнутую котловину. Природные ландшафты этого горного региона носят ярко выраженный высокогорный характер, отличаясь большим разнообразием. В западной и южной частях котловины преобладают ландшафты вулканического происхождения. Склоны развитых здесь вулканических массивов имеют вид плато различной высоты. Лишь местами они расчленены неглубокими каньонами, которые пересекают трещиноватые вулканические породы, поглощающие значительную часть



Канал Арпа—Севан, построенный для пополнения запасов воды в озере.

Фото В. Н. Павлова.

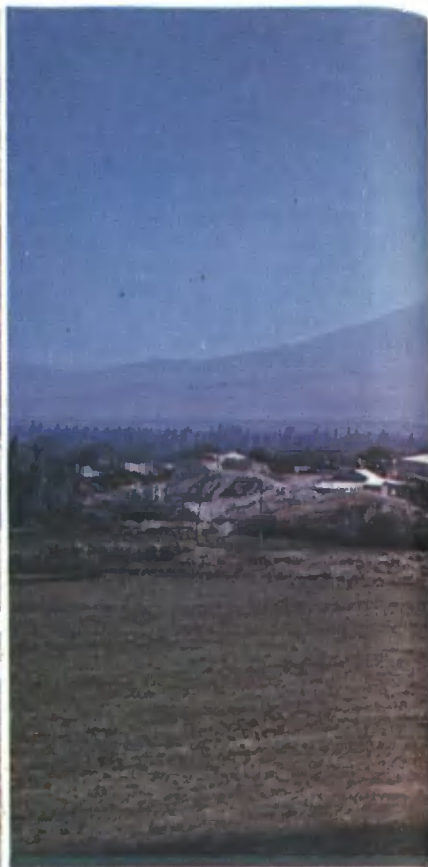
Араратская долина, орошаемая водами Севана.

Фото Л. А. Филимонова.

атмосферных осадков. Поэтому западная часть котловины Севана практически лишена поверхностного стока.

Восточная часть Севанского бассейна сложена складчато-глыбовыми хребтами, сильно расчлененными долинами с крутыми склонами, заложеными в легко размываемых вулканогенно-осадочных и осадочных породах.

Режим инсоляции на склонах складчатых хребтов (Арегунийского и Севанского) способствует быстрому выветриванию горных пород, а континентальность климата и крутизна склонов приводят к интенсивному перемещению обломочного материала вниз по склонам, формированию селевых процессов и усиленной



глубинной эрозии. Эти процессы усугубляются и в связи с истреблением лесной растительности. Лишь остатки аридных кустарниковых редколесий сохранились в глубоких долинах и ущельях. Усиленная эрозия и селевые явления после спуска воды озера изменили облик прибрежных аккумулятивных равнин и заполнили озеро выносимым реками обломочным материалом. Процессы эрозии и русловые деформации (углубление русел, размыв берегов и т. п.) обусловлены прежде всего понижением уровня озера — базиса эрозии впадающих в Севан рек.

Расширение площади орошаемых земель, как и осушение прибрежных заболоченных участков Масрикской равнины, способствовало усиленному поступлению в озеро биогенных веществ. Природно-ландшафтная ситуация Севанской котловины во многом изменилась в результате строительства поселков, дорог и пр. Все эти изменения прежде всего ухудшили состояние почвенного покрова наземных ландшафтов.



Эрозия почв на нынешнем этапе является основным природным бедствием в восточной части Севанского бассейна. Главной ее причиной, помимо геолого-литологического строения, являются большая крутизна и интенсивная расчлененность склонов складчато-глыбовых хребтов.

Губительное воздействие нерационального ведения лугово-пастбищного хозяйства отчетливо бросается в глаза на склонах Арегунийского и Севанского хребтов. Здесь «тропинная» эрозия склонов привела к образованию мелких оврагов и разрушению почв, что позднее вызвало процессы плоскостной эрозии. Усиление эрозии почв в бассейне Севана вызвано также распашкой маломощных почв, которые залегают на известняках и песчаниках, слагающих склоны хребтов восточного побережья.

В условиях Севанского бассейна самым распространенным мероприятием в борьбе с эрозией почв является, в конечном итоге, воссоздание прежних лесных ландшафтов.

Современный ход склоновых процессов и ландшафтообразованием показывает, что одна из наиболее насущных проблем Севана — разработка комплекса противоэрозионных мероприятий.

Основное, на наш взгляд, условие предотвращения прогрессирующих русловых деформаций глубинной и боковой эрозий — спрямление и канализование русел рек и ручьев вплоть до впадения в озеро. При проектировании каналов в первую очередь необходимо надежно укрепить дно и борта этого искусственного русла, а глубину и ширину его рассчитать с учетом максимального многолетнего уровня речных паводков. Проектируя гидротехнические сооружения на реках Севанского бассейна, ни в коем случае нельзя упускать из виду прямое или косвенное их воздействие на рыбное хозяйство озера. Дело в том, что главное богатство озера — форель — во время нереста поднимается вверх по течению рек и всякая искусственная прегра-



Техногенная эрозия альпийских лугов Варденского хребта.

Фото Г. Б. Григоряна.

да, возведенная на ее пути, приведет к нарушению естественного воспроизводства рыбы. Работы по стабилизации левых русел Севанского бассейна с помощью инженерных сооружений должны обязательно сочетать посадки леса с посевом трав и посадкой кустарников. В условиях селеносных бассейнов восточного побережья Севана, на наш взгляд, следовало бы испытать посевы донника и дерезы, обладающих мощной корневой системой и способных быстро закрепить эродированные склоны. Преимущество этих растений заключается в том, что их посадка не требует специальной обработки почв. Хорошим противозерозийным растением служит также можжевельник.

Большое внимание следует обратить и на засушливые районы восточного побережья, где естественные лесные ланд-

шафты находятся в деградированном состоянии. Правда, лесные участки восточного побережья объявлены заказником еще в 1958 г., но в действительности круглый год на них выпасают скот, построены животноводческие фермы, летние стоянки и т. п.

В связи с генеральным планом освоения территории республики бассейн Севана в ближайшем будущем станет одним из центров рекреации всесоюзного значения. Это отразится на характере специализации сельского хозяйства и развитии новых его отраслей, способных удовлетворить рекреационные нужды региона. Таким образом, оздоровление экологического режима Севана невозможно без оптимизации окружающих ландшафтов.

#### НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «СЕВАН»

Учитывая курортное значение и огромные рекреационные ресурсы Севана, находящегося вблизи крупной Ереванской

агломерации, а также исходя из природоохранительных целей, правительство Армянской ССР приняло решение создать в бассейне Севана национальный парк.

Так как национальные парки являются одной из перспективных форм охраны и рационального использования природных ресурсов, организацию парка на территории Севанской котловины следует провести с учетом ландшафтных особенностей региона. Как нам кажется, целью или задачей организации Севанского национального парка должны стать: охрана водных и рыбных ресурсов Севана и регулирование техногенного влияния на его экологический режим; охрана и улучшение состояния прилегающих к нему наземных ландшафтов; рациональное использование рекреационных ресурсов природных ландшафтов бассейна; проведение комплексных, в частности экологических, научных исследований.

Поскольку в условиях замкнутых межгорных котловин охрана гидрологических комплексов возможна лишь при урегулировании вопросов природопользования на территории всего бассейна, по нашему мнению, в состав национального парка следует включить не только прилегающую к озеру территорию, но и всю Севанскую котловину.

Учитывая современное состояние хозяйственного использования территории, мы предлагаем в пределах национального парка выделить функционально четко отличающиеся друг от друга зоны: переходную с ограниченным сельскохозяйственным использованием, сельскохозяйственную, рекреационную и заповедную.

Нам представляется, что в национальном парке должен постоянно действовать комплексный научный центр, разрабатывающий методы прогнозирования природных процессов и борьбы с негативными явлениями.

Итак, сжатый анализ некоторых географических аспектов проблемы Севана указывает на сложность стоящих перед нами задач. Их решение возможно при осуществлении трех комплексов мероприятий. Наиболее важный из них — повышение уровня воды озера, что представляет техническую сторону решения общей проблемы и включает многоэтапное осуществление сложного инженерного проекта. Второй комплекс мероприятий направлен на охрану вод озера от загрязнения. Третий должен быть направлен на охрану, восстановление и рациональное использование природных ресурсов бассейна, так или иначе влияющих на экологию Севана.

## ПРИРОДА

### ИСКУССТВЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КАМЕННОГО УГЛЯ И ТОРФА

В ряду торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит имеет место естественный процесс разложения, происходит постоянное обогащение углеродом. Поэтому сама собой является мысль об искусственном получении угля: например, при помощи давления и жара, исключив по возможности соприкосновение с атмосферными газами, чтобы удержать продукты перегонки и чтобы не наступало полного стгорания.

Ал. Пецольдт достиг этой цели; он из свежего дерева получил бурый уголь и антрацит. Пецольдт пользовался полыми толстостенными чугунными цилиндрами, которые могли герметически закрываться. В каждой из цилиндров помещался кусок дерева и под цилиндрами разводился огонь. По окончании опыта в цилиндрах оказывалась черная блестящая масса, занимавшая около половины того объема, который имело дерево; эта масса, с удельным весом в 1,18, заключала

в себе небольшие пустоты и совершенно не имела органической структуры; при сухой перегонке она обнаруживала свойства каменного угля.

Что касается искусственного получения торфа, то этот опыт был выполнен недавно следующим образом: были взяты различные опавшие листья; некоторое время они то сохранялись в воде, то только влажными, то — почти сухими. Приготовленные так листья помещались в стеклянный сосуд, который затем наполнялся водой настолько, что под ней оказывались почти все листья. Летом сосуд выставлялся на воздух, так что испаряющаяся вода возмещалась дождевой. В сосуд были помещены некоторые травы и посеяны семена полевицы. Это обуславливало развитие корней и тем приближало опыт к условиям естественного образования торфа. Опыт был начат в исходе лета 1909 г., и уже в декабре 1910 г. получился торф, ничем не отличающийся от естественного, кроме разве только того, что он образовался из другого первоначального материала.

## Остаточные явления в культуре

А. И. Першиц



Абрам Исакович Першиц, доктор исторических наук, заведующий сектором Института этнографии АН СССР, занимается вопросами истории первобытного общества, общей этнографии, этнографии кочевых народов. Книги: *Хозяйство и общественно-политический строй Северной Аравии*. М., 1961; *История первобытного общества* (в соавторстве с А. Л. Монгайтом и В. П. Алексеевым). М., 1974.

Если бы естественника спросили, существуют ли в природе остаточные, реликтовые явления, он, вероятно, только удивился бы неосведомленности собеседника. Останцы в геоморфологии, реликтовые почвы в почвоведении, рудиментарные органы и реликтовые виды в биологии — реальность всего этого в науках о мертвой и живой природе очевидна и общепризнана. Сходным образом обстоит дело в лингвистике: едва ли у кого-нибудь вызовет сомнения остаточный характер таких слов, как, скажем, «стрельба» или «крестьянин».

Не то в этнографии и других областях знания, изучающих не природу и не язык, а культуру в ее узком понимании. Здесь вопрос о культурных остатках, реликтах, пережитках принадлежит к числу не только очень важных, но и остро спорных. От того, как его решать, во многом зависит корректность методики реконструкции прошлого в таких науках, как история первобытного общества, историческая этнография, история культуры. И дело не ограничивается одним лишь источниковедением. В последнее время становится все яснее, что от этого же в значительной мере зависит осмысление многих современных нам явлений культуры, оценка и даже прогноз их дальнейшего развития.

### ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Понятие остаточных явлений в культуре возникло более столетия назад, родившись вместе с научной этнографией. Это было время победного шествия естественнанаучного эволюционизма. Его успехи впечатляли, и он втянул в свое русло изучение сперва человека, а затем человеческой культуры. Один из основателей эволюционизма в этнографии, англичанин Э. Тайлор, подметил, что, хотя в развитии культуры более совершенные элементы вытесняют менее совершенные, последние не всегда исчезают бесследно. От них остаются реликты, или, как назвал их английский ученый, пережитки. Верный своему естественнанаучному подходу к явлениям культуры, Тайлор сопоставил культурные пережитки с рудиментами в живом организме. Пережиток, считал он, это такой предмет, обычай, обряд и т. п., который в силу привычки перенесен из одной стадии культуры, где имел практическое значение, в другую, где утратил смысл и стал нелепостью<sup>1</sup>. Примеров пережиточных яв-

<sup>1</sup> Тайлор Э. *Первобытная культура*. М., 1939. (К сожалению, мы вынуждены ссылаться на вышедшие книги этого автора со старой,

лений в современном или недавнем быту, говорит Тайлор, великое множество. Так, ручная прокидка челнока в ткачестве — воспоминание о том времени, когда эта работа была совсем не механизированной. Пожелание здоровья при чихании — остаток веры в то, что через отверстия в голове в человека входят добрые или злые духи. Заздравный тост — реликт древнего обычая совершать жертвенные возлияния в честь высших сил. И т. д., и т. п. Правда, Тайлор смутно сознавал, что пережитки в культуре и рудименты в живом организме это не совсем одно и то же. Он упоминал, что вытесненные нравы старинной жизни могут облекаться в новейшие формы, и привлекал внимание к умирающим и возрождающимся (рецидивирующим) пережиткам. Однако, продолжая рассматривать, подобно другим эволюционистам, отдельные явления культуры как самодостаточные, обособленные от социальной среды органические образования, он не сумел показать, почему пережитки возникают, видоизменяются или рецидивируют. В итоге общий подход к культурному пережитку только как к рудименту заводил в логический тупик.

Это облегчило «крестовый поход» против самого понятия пережитка в культуре, начатый в 1920-х годах разными учеными и с разных теоретических позиций, но главным образом представителями нового, антиэволюционистского течения в этнографии — функционалистами. Создатель функционализма, натурализовавшийся в Англии поляк Б. Малиновский противопоставил идее отдельных эволюционных рядов культурных явлений идею культуры как единого и неделимого целого. В каждой культуре все органично связано и взаимозависимо; каждый элемент культуры выполняет свою жизненно важную функцию, и поэтому здесь не может быть места каким-либо пережиткам. Конечно, со старой стадии культурного развития что-то может перейти на новую, но лишь в том случае, если обретет новое функциональное значение и, следовательно, уже не будет пережитком.

Твердо отстаивая идею что пережитки в культуре невозможны, Малиновский подкрепил ее несколькими яркими иллюстрациями. Вот, например, камин в

современном доме, имеющем центральное отопление. Пережиток ли это? Нет, потому что камин продолжает создавать уют и служит эстетическим потребностям. Или, скажем, конный экипаж на улицах, которыми уже завладели автомобили. А это пережиток? Тоже нет, так как езда в экипаже удовлетворяет эмоциональной потребности общения с прошлым<sup>2</sup>.

Эти и им подобные примеры произвели большое впечатление на современников и до сих пор продолжают владеть умами большинства западных, в особенности английских, этнографов. Заговорить в их среде об остаточных явлениях в культуре — значит прослыть эпигоном допотопного эволюционизма и вообще рутинером. А между тем функционалисты по сути дела попытались опровергнуть (если обратиться опять-таки к понятиям естественности) лишь реальность культурных рудиментов или консервативных реликтов, но не реликтов адаптивных. Однако, признавая, что старые явления культуры могут приобретать новые функции, и в то же время отрицая существование пережитков вообще, они, подобно своим предшественникам — эволюционистам, не сумели понять и показать, как возникают и почему видоизменяются или оживают разные виды культурных реликтов. Они, впрочем, и не стремились к этому, считая, что всякая историческая реконструкция скорее всего невозможна и уж во всяком случае бесполезна. Но так или иначе общий подход функционалистов к вопросу об остаточных явлениях в культуре также заводил в логический тупик.

Из этих тупиков видится только один выход. А именно — сопоставить особенности развития в природе, где реликты бесспорны, и в обществе, а значит, и в культуре, где они спорны. Попытаться разобраться, существуют ли в культурном развитии остаточные явления и, если существуют, то какова специфика остаточности в разных видах реликтов. Тем самым классифицировать эти виды.

## ПРИМЕРЫ КУЛЬТУРНЫХ ОСТАТКОВ

Масштабы времени в разных областях природы (астрономические, геологические, биологические и т. д.) различаются на много порядков, но даже самые узкие

неверной транскрипцией его имени. В последнем издании «Советской энциклопедии» принята новая форма.) В менее четком виде мысль о существовании пережитков в культуре высказывалась до Тайлора французским энциклопедистом Ш. де Броссом и русским философом К. Д. Кавелиным.

<sup>2</sup> Malinowski B. A. *Scientific Theory of Culture*. Chapel Hill, 1944; Idem. *The Dynamics of Culture Change. An Inquiry into Race Relations in Africa*. New Haven, 1946.

из них — зоологические — в несколько сот раз шире масштабов времени в развитии общества и культуры. Соответственно в развитии природы, даже живой, остаточные явления задерживаются надолго и поэтому выявляются сравнительно легко. Это относится не только к многочисленным рудиментарным органам, но и к реликтовым видам, многие из которых исчезли совсем недавно, как, скажем, тарпан в русских степях, или же все еще сохраняются до нашего времени, как, например, выхухоль.

По сравнению с природным социальное и культурное развитие куда скоротечней. Вспомним, что само человечество, как считает сегодня большинство исследователей, не старше 1—1,5 млн лет, а человеку современного вида, *Homo sapiens*, всего 40 тыс. лет. Это совсем другие темпы эволюции, оставляющие несравненно меньше места и разного рода реликтам, и возможностям их выявления. И все же остаточные явления в культуре существуют: они неизбежны теоретически и выявляются фактически.

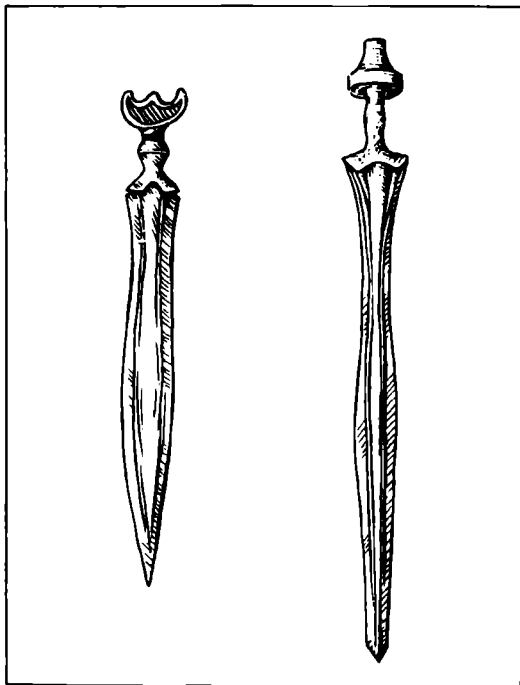
Теоретически — потому что развитие всегда неравномерно. Как бы ни были взаимосвязаны и взаимообусловлены компоненты и элементы культурных систем, они эволюционируют с разной скоростью, опережая и пропуская вперед друг друга. Сами эти системы развиваются неравномерно, и те, что отстали и не сумели догнать ушедшие вперед, в конце концов неизбежно превращаются в реликтовые. Но реликтовые культурные системы, сохранившиеся в своих «экологических нишах» (наиболее типичны из них культуры бродячих охотников и собирателей тропических лесов и пустынь), — это особая тема, которой мы здесь касаться не будем.

Фактически — потому что нас со всех сторон окружают свидетельства остаточных явлений культуры. Одни из них очевидны, другие так или иначе могут быть установлены исследователями.

Многие, кому за пятьдесят, хорошо помнят первые поезда московского метро. Двери в них открывались и закрывались автоматически, но так же, как и двери менее модернизированных трамваев или автобусов тех лет, были снабжены ручками. Был ли в этом какой-нибудь практический или хотя бы эстетический смысл? Ясно, что нет. Это был реликт. Больше того, этот реликт оказался вредным и не только потому, что он стоил, пусть небольших, но все же лишних денег. Те, кто хотел раздвинуть двери после сигнала отправления поезда, с удоб-

ством для себя пользовался ручками, мешая движению. И поэтому уже в вагонах следующей серии дверных ручек не было.

Когда в энеолите на смену каменным топорам стали приходиться медные, они какое-то время воспроизводили форму полированных каменных топоров, их типичное уплощение, расширение книзу и даже отсутствие сверлин. То же наблюдалось при переходе от бронзового века к железнному: многие железные мечи расширялись в средней части лезвия, что в железе сделать труднее, чем в бронзе. Это были



Мечи бронзового века (культура эсте) и раннего железного века (гальштат). Прорисовка.

реликты, с очевидностью неэкономичные, и их хватило ненадолго.

Носки восточной обуви загнуты сверху. Так всаднику было удобнее придерживать стремя. Всадничество, по крайней мере массовое, кануло в вечность, форма же обуви сохранилась.

Спикер английского парламента сидит на подушке, набитой шерстью. Когда-то это служило ярким символом торгового могущества страны, одним из источников богатства которой была шерстяная промышленность. Современная Англия мень-



ше всего жива овечьей шерстью. Но подушка с шерстью осталась: англичане не слишком склонны преодолевать инерцию традиций. К тому же этот реликт никому не мешает — в конце концов, какая разница, на чем сидеть спикеру. Как известно, в общественной жизни англичан немало и других реликтов, большинство которых восходит к средневековью.

У некоторых народов (арабов, части народов Дагестана, Средней Азии и других) многие женятся на двоюродных и троюродных сестрах по отцовской линии. Это так называемые ортокузенные браки. Некогда у данных народов они были нормой, так как браки в пределах близкородственной группы позволяли избавиться от выкупа за невесту или же значительно снизить его размеры. Брачный выкуп исчез или стал полусимволическим, а традиция в какой-то степени сохранилась.

Все это примеры простых, более или менее полных, самоочевидных культурных реликтов, сходных с консервативными в биологии. Те из них, что вступают в противоречие с новыми реальностями, живут совсем недолго; те, что нейтральны, живут, куда почему-либо не вступят в такое противоречие. Скажем, до тех пор, пока мощный напор современной городской моды не разогнет носки туфель. И все-таки даже нейтральные реликты относительно недолговечны: ведь общественная и культурная жизнь не застывает на тысячелетия, в ней всегда что-нибудь да меняется.

Иначе обстоит дело с другой группой культурно-исторических явлений. Они намного прочнее и устойчивее, но в то же время далеко не так очевидны в качестве реликтов. Приведем снова несколько примеров.

У многих народов Востока, в том числе и восточной части нашей страны, существуют так называемые обычаи избегания. Они состоят в том, что после вступления в брак люди должны какое-то время избегать старших, в особенности своих старших родственников и свойственников. При них муж и жена не покажутся рядом ни дома, ни на улице селения, мать или отец не возьмут на руки, не приласкают своего ребенка. Молодая женщина первое время не разговаривает со свекровью и часто всю жизнь — со свекром, а у некоторых народов даже старается не попадаться ему на глаза. Молодой муж также избегает тестя и тещу. Обычно по прошествии нескольких лет избегание ослабевает, но в ослабленных формах сохраняется навсегда. Супруги не сядут при старших за один стол,



Спикер палаты общин в торжественной процессии. За ним несут подушку, набитую шерстью, бывшую некогда символом торгового могущества Англии.

отец не станет на людях обниматься с сыном, невестка не решится сесть на скамейку, на которой уже сидит свекровь.

Этнографы по-разному объясняют эти обычаи. Этнографы функционального толка усматривают в избегании между супругами и между родителями и детьми стремление не допустить атомизации большой семьи, а в избегании между женой и родителями мужа — стремление предотвратить конфликты. Но почему также и муж избегает своих старших свойственников, редкие конфликты с которыми не грозят постоянными ссорами? На это ответа нет. И потому в этнографии ныне преобладает другое объяснение. Когда-то, при переходе от матриликального поселения к патрилокальному блюстители традиций — старшие и прежде всего старшие члены двух непосредственно заинтересованных в деле семей — стали делать вид, что они не замечают новую супружескую ячейку, обосновавшуюся не матриликально, а патрилокально. Они предпочитали ломать традицию «в рамках традиции» (Маркс). И установившийся таким образом порядок избегания сохранился.

Но как получилось, что эти не очень-то удобные в быту обычаи удержались у многих народов на протяжении, по



Участник современной церемонии осмотра подвалов английского парламента. Эта церемония была установлена после «порохового заговора» Гая Фокса 1605 г., имевшего целью взорвать парламент во время заседания.

меньшей мере, полутора-двух тысячелетий? Вероятно, они выжили потому, что были приспособлены к новым условиям. И в самом деле, как было показано на примере значительной группы народов, знающих обычаи избегания, в патриархальную и раннеклассовую эпохи эти обычаи стали у них составной частью патриархального порядка, особым семейно-родственным и общинным этикетом, подчеркивающим подчиненный статус младших членов большой семьи и соседской общины<sup>3</sup>.

Таких приспособленных на новый лад явлений культуры великое множество — во всяком случае значительно больше, чем консервативных реликтов, причем они, как правило, намного древнее последних. У большинства отставших или отстававших до недавнего времени в своем развитии народов действующиe нормы экзогамии, т. е. запрещение вступать в брак в пределах широкой родственной группы. Родовая экзо-

гамия восходит к верхнему палеолиту (40 тыс. лет до н. э.). Она возникла, по-видимому, как механизм завязывания социо-хозяйственных связей между соседними группами. Как же экзогамия удержалась после разложения родового строя в обществах, где давно возникли другие механизмы межгрупповой интеграции? Здесь возможно только одно объяснение: в новых условиях древний обычай стал рычагом консолидации самих родственных коллективов.

Другой пример. В традиционном русском свадебном обряде положено, чтобы жених перенес невесту на руках через порог своего дома. Все это, так же как обрядовая враждебность свиты невесты и свиты жениха, свадебные плачи невесты и т. п., полустертые черты так называемых свадебных антагонизмов. Они слабо выражены в цивилизованных обществах, но у отставших в своем развитии народов дело доходит до настоящих побоищ. На рубеже нашего века англичанином Э. Кроули было показано, что антагонистические черты в свадьбе восходят к очень древним половым табу на общение между мужчинами и женщинами (заключавшее, по представлениям первобытного человека, некую мистическую опасность)<sup>4</sup> и, следовательно, тоже являются как бы ломкой традиции в рамках традиции. Отголоски подобных табу дошли до нашего времени, приняв на себя новые функции — отчасти ритуальные, отчасти игровые (занимательный элемент обряда).

К такой же глубокой древности восходят упомянутые выше обычаи задравных тостов и пожелания здоровья при чихании. Несколько моложе такие явления культуры, как камин и экипаж в современном Лондоне. Остаточные ли это явления? Нет, если считать остаточными только такие явления, которые целиком и полностью ни к чему не приспособлены. Да, если считать особой разновидностью остаточных явлений также и такие, которые частично приспособлены к новым реальностям.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ КУЛЬТУРНЫХ ОСТАТКОВ

В чем же специфика этих явлений? Существует мнение, что культурные остатки — это явления, которые изменили со-

<sup>3</sup> Смирнова Я. С. Избегание и процесс его отрицания у народов Северного Кавказа.— В кн.: Этнические и культурно-бытовые процессы на Кавказе. М., 1978.

<sup>4</sup> Краулей Э. Мистическая роза. Исследование о первобытном браке. СПб, 1905. (Имя Краули здесь дано в старой транскрипции.)

держание, не изменив формы. В этом есть доля истины, так как многие остаточные явления наряду с содержанием хотя бы частично меняют и форму. Таковы, например, лацканы пиджака, которые давно утратили практическую функцию. Широкие лацканы — при их возникновении — предполагалось запахивать. Со временем они превратились в эстетический элемент костюма (узкие лацканы не запахнешь) и периодически меняются в соответствии с модой. Значит, сущность частично остаточных культурных явлений не столько в разрыве между формой и содержанием, сколько в самом факте такой видоизмененной остаточности, которая позволяет опознать в нем связь с прошлым. Реликты этого вида в культуре — то же, что адаптивные реликты в природе. Но здесь есть и очень существенная разница: в природе адаптивные реликты приспособляются к изменившимся условиям сами, в культуре же их приспособляет к этим условиям человеческое общество.

Сложнее всего природа исчезающих и вновь оживающих (рецидивирующих) культурных явлений. Что вообще кроется за ними — преемственность в чередовании явных и скрытых форм или же свободная от всякой преемственности, обусловленная сходными историческими причинами повторяемость во времени? На этот вопрос нельзя ответить однозначно: историческая этнография знает примеры и того и другого.

Типичным примером преемственности в культурных рецидивах является женское покрывало у мусульманских народов. Мусульманское право — шариат с его всеобъемлющей бытовой регламентацией предписывает, чтобы женщины не показывались посторонним мужчинам без покрывала. В прошлом во всех странах, где глубоко укоренился ислам, эта норма неукоснительно соблюдалась. Но в новейшее время либеральные веяния, влияние западной культуры, а главное борьба самих женщин против половой сегрегации и затворничества в значительной степени поколебали древнее предписание. В ряде стран, в том числе в 1920-х годах в Иране, покрывало было официально отменено. Все же забыто оно не было: его продолжали носить в консервативных слоях общества и в религиозных центрах страны — городах Куме и Мешхеде. Однако в новых условиях последних лет, когда ислам, а с ним и шариат стали знаменем антимонархической революции и антиимпериалистического движения, его идеологи потребовали, чтобы все женщины снова надели покрывало. Явле-

ние, которое уже становилось остаточным, обрело новую жизнь.

Сходный, хотя и обусловленный иными идеологическими мотивами, пример преемственности являет отношение к женским парикам в особо религиозных, в частности клерикальных, слоях населения Израиля. Иудаизм предписывает, чтобы замужняя женщина сбрасывала волосы на голове и носила парик, что само по себе представляет реликт древней табуации волос. На протяжении многих веков это было нормой только в фанатически религиозных семьях, но она несколько оживилась с усилением клерикализма в современном Израиле.

В других культурных рецидивах, напротив, хорошо видна их независимость от механизмов преемственности. Так, у многих народов неразделенная большая семья, полностью прекращавшая свое существование с развитием товарного хозяйства и установлением прочной государственности, вновь возникла в условиях хозяйственного и политического упадка или при колонизации необжитых дальних областей. Не менее характерный пример дает так называемый брак с уходом, или фиктивное похищение невесты, совершаемое по обоюдной договоренности между женихом, невестой и их семьями. Этот, казалось бы, странный обычай имеет глубокий экономический смысл. Он избавляет обе стороны от расходов на свадьбу, свадебный обмен подарками и т. п. Брак уходом у многих народов (у болгар или ряда народов Северного Кавказа) входил в обычное, полностью исчезал и снова возникал в зависимости от материального благосостояния общества на той или иной исторической стадии.

По-видимому, только те рецидивирующие культурные явления, в оживлении которых участвуют механизмы культурной преемственности, можно рассматривать как остаточные.

Таким образом, в культуре могут быть выделены три основные категории остаточных явлений, или, как их чаще называют в общественных науках, пережитков. Первая — это простые остатки, сходные с консервативными реликтами в естествознании. Назовем их также **реликтами**. Вторая категория — остатки видоизмененные и приспособленные, адаптивные. Обозначим их как **дериваты**. Наконец, третья категория — это остатки преемственно возобновляющиеся. Назовем их **реституатами** (от лат. *restitutio* — восстановление, возобновление).

## МЕТОДЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

Различение трех категорий пережитков важно не только в классификаторских целях. Остаточные явления в культуре имеют большое значение для исторической реконструкции прошлого, и в этой реконструкции реликты, дериваты и реституты занимают разное место.

Историческая реконструкция методом изучения пережитков предполагает две операции: истолкование пережитка и установление его стадильной глубины. При обращении к реликтам первая из них, естественно, отпадает: реликт не видоизменен и не требует специального истолкования. Определить возраст реликта — это значит обнаружить аналогичные культурные явления в тех обществах, где они еще живут не остаточной, а полнокровной жизнью. В большинстве случаев этнография и археология открывают для этого широкие возможности. Загнутые носки туфель появились вместе с легко датируемым всадничеством, ортокузенные браки — в обществах, переживающих разложение первобытнообщинного строя и т. д.

Намного сложнее обращение к пережиткам-реститутам, даже если они имеют не видоизмененный, а реликтовый характер. Такая операция, как истолкование пережитка, в этом случае также отпадает, зато установление его стадильной глубины требует обнаружения хотя бы какой-то преемственности в цепи затухания и возрождения. Возможно ли это вообще?

Думается, что обладающие известной преемственностью реституты можно отличить от лишенных такой преемственности, но повторяющихся во времени сходных явлений с помощью некоторых специальных приемов. Одним из них является получение указаний на особую архаичность выраженной в данном реституте культурной традиции и тем самым на большую вероятность ее преемственности. Такими указаниями могут, в частности, служить мифологизированность, сакрализованность или ритуализированность реститута. Хорошо известно, что чем дальше в глубь веков, тем нерасчлененнее были различные сферы культуры. Даже предметы материальной культуры и акты хозяйственной жизни, теснее всего связанные с непосредственной целесообразностью, часто сопрягались с половозрастной, престижной, этнической и другой «маркировкой», мифологизировались и в той или иной степени освящались. Это тем более относилось к социальным

институтам и идеологическим представлениям. Для австралийского аборигена топор, палка-копалка или рыболовная сеть — это не только полезные предметы, это предметы, фигурирующие в священных мифах, а все сколько-нибудь важные обычаи непременно освящены и санкционированы мифологией. То же в какой-то мере характерно для других архаических обществ.

Если мы располагаем указанием на известную мифологизованность или сакрализованность изучаемого явления, то очень велика вероятность того, что перед нами не сравнительно недавнее новообразование, а архаическая традиция. Кстати сказать, именно так обстоит дело с иудейским париком и мусульманским покрывалом. Ношение замужней женщиной парика было предписано религиозно-этическими нормами иудаизма, однако восходит к несравненно более ранним магическим представлениям первобытности, по которым волосы рассматривались какместилище опасных сил (вспомним библейский миф о Самсоне). Ношение женского покрывала санкционировано Кораном, но коренится в магических представлениях, согласно которым рот и нос считались наиболее вероятным местом входа или выхода злых духов и поэтому должны быть закрыты. Ограничения накладывались на замужнюю женщину как на чужеродку, пришедшую в род мужа, чтобы духи ее рода не могли повредить окружающим и чтобы ей самой не повредили духи рода, в котором она поселилась.

И все-таки самый трудный материал для исторических реконструкций по пережиточным явлениям представляют дериваты, а тем более дериватные реституты. Дериваты изменены не только по содержанию, но и по форме. Они переосмыслены, и, чтобы восстановить их прежнее значение и место в истории культуры, нужна операция «обратного переосмысления». Такие операции неизбежно открывают беспредельные возможности для произвольных, подчас самых фантастических версий и создают богатую почву для нападок, нередко справедливых, на метод пережитков.

Действительно, в методике использования дериватов для восстановления картины прошлого путем их «обратного переосмысления», по-видимому, не может быть стандартных приемов. У каждого деривата свое индивидуальное лицо, у которого модифицированы не только форма и содержание, но и внутренние и внешние стимулы изменения. Скажем, устано-

лено, что у племени мевехавен на о-ве Новая Британия празднование совершеннолетия подростков из высшего слоя общества нередко стало сопровождаться инициациями, особым ритуалом приобщения к категории взрослых, из престижных соображений заимствованным на соседнем о-ве Новая Гвинея. Однако весь этот комплекс, который на Новой Гвинее сопровождался раздельной инициацией полов, при которой обряд инициации мальчиков хранился в тайне от женщин, в Новой Британии механически превратился в исключительно социомаркирующий обряд — мальчики и девочки стали иницироваться совместно<sup>5</sup>. Если бы Меланезия не была хорошо исследована этнографами, то видоизмененный и переосмысленный обряд мевехавен был бы принят за дериват его собственного спонтанного развития. На его основе был бы восстановлен якобы нормальный инициационный комплекс самих мевехавен. Поэтому, хотя использование дериватов как источника исторических реконструкций в принципе не исключено, оно недопустимо без тщательного исследования, с одной стороны, культурной системы в целом, а с другой — конкретной истории всего культурного региона.

#### ПРОБЛЕМЫ КУЛЬТУРНЫХ ПЕРЕЖИТКОВ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Как ни важно обращение к остаточным явлениям для понимания прошлого, еще важнее обращение к ним для понимания процессов, идущих в современном мире. Здесь вопрос о пережитках в культуре предстает как одна из составных частей культурной традиции.

Традиция обеспечивает преемственность явлений культуры, передаваемых от поколения к поколению. При этом сами такие явления частью постепенно обновляются в соответствии с новыми условиями и потребностями, частью передаются в ставших привычными в данном обществе стереотипах. Можно сказать, что в широкой исторической перспективе одни из них находятся на взлете, другие — на излете. К числу последних в этой исторической перспективе и принадлежат пережитки.

Однако специфика традиции такова, что различие в ней живого и отмираю-

щего намного легче поддается научному анализу, чем восприятию обыденным сознанием. То же относится и к ценностной стороне передаваемых по традиции культурных явлений. Нередко их ценят и культивируют как целиком и неизменно прогрессивное историческое наследие народов, религиозных, точнее, конфессиональных общностей, социально-профессиональных групп, хотя культурные достижения в них соединены с тем, что тянет культуру назад.

То и другое в самом деле не всегда легко отделяется друг от друга и раскладывается по разным полочкам с однозначными этикетками. В культуре, а тем более в ее обыденном осознании, существуют свои корреляции. Каждый народ, если ассимиляционные процессы не подрывали его этическую жизнестойкость, дорожит своими культурными ценностями и стремится сохранить свои особенные, неповторимые черты. Но диалектика развития такова, что это подчас приводит к консервации, а то и к регенерации уродливых «мокроступов» или таких обременительных элементов традиционного этикета, как обычай избегания. В результате оживляется то, что В. И. Ленин назвал специфически национальной узостью. Культурные ценности, созданные народными массами, совершенствуются в профессиональной, преимущественно городской, среде и в таком виде снова проникают в быт самых широких слоев населения. В условиях разделения физического и умственного труда этот «ротационный» процесс естествен и продуктивен.

Однако нередко приходится сталкиваться с тем, что в духовной культуре плодам профессионального творчества, возвращенным на народной почве, искусственно противопоставляются «фольклоризмы» и «этнографизмы» как нечто непреходяще народное. Наконец, в самом широком плане сама традиция как необходимый механизм социализации и инкультурации (приобщения к культуре) зачастую имеет своей оборотной стороной традиционалистское мироощущение, переходящее в обывательское преклонение перед всем устоявшимся и в стадное копирование общепринятого. Это лучше всего видно на примере обрядной жизни. Как ни велико значение обрядности в социализации и инкультурации, у бездумного следования стереотипным обрядам есть и теневая сторона — отказ от широкого диапазона собственных вариативных действий.

Переплетение и борьба отживающего с нарождающимся, несомненно, были свой-

<sup>5</sup> Allen M. R. *Male Cults and Secret Institutions in Melanesia*. Melbourne et al., 1967.

ственные процессам культурной преемственности во все исторические эпохи. Не чужды они и нашему времени. Больше того, сейчас эти процессы, по-видимому, активизировались в планетарных масштабах. Они протекают как естественная реакция на усилившуюся в новое и особенно в новейшее время культурное взаимодействие человечества. Но чем теснее становятся контакты во всех областях культуры, тем острее встает вопрос о сохранении этнокультурной самобытности. Народы отстаивают особенности своих культур и с ними вместе нередко не только развивающееся, но и остаточное в культуре.

Разумеется, в условиях социально-исторических систем эти тенденции неодинаковы по характеру и выражены с различной интенсивностью. Наиболее заметны они в бывших колониальных и зависимых странах, ставших на путь самостоятельного развития. Это и понятно, но во многих из них стремление отстоять и развить традиционные этнокультурные ценности сопрягаются со своими издержками. В Африке получили известное распространение течения африканизма и негритуада, в которых не только выдвинута идея непреходящей особенности и самодостаточности автохтонных (местных) культур, но и поднимаются на щит такие уходящие в прошлое явления культуры, как племенная обособленность и солидарность. В некоторых странах Западной Азии строго соблюдается наложенный религией запрет на изображение живых существ (а тем самым и на фотографирование и кинематографию), неукоснительно проводится сегрегация мужчин и женщин в общественных местах. В развитых странах реакция на культурное взаимодействие слабее, но она есть и здесь. Во Франции, скажем, до сих пор штрафуют за лексические заимствования из других языков в средствах массовой информации, прежде всего за американизмы.

Действуют и другие механизмы консервации остаточных явлений в культуре. Один из них заключается в том, что с повышением социального статуса какого-нибудь слоя (например, касты в Индии) его представители стремятся усвоить ориентации и обычаи представителей более высокого слоя, в том числе такие, от которых те отказываются или отказывались<sup>6</sup>. Так могут гальванизироваться архаичные брачные нормы или погребальные обряды,

пищевые запреты или религиозные ритуалы. Перед нами своеобразные издержки общих процессов демократизации традиционных социальных систем (размывания сословных перегородок, кастовых барьеров и т. п.), тем более заметные, чем активнее идут сами эти процессы.

Наблюдаемое в современном мире известное оживление остаточных явлений в культуре едва ли сколько-нибудь долговечно. И дело здесь не только в эндогенных факторах развития, т. е. в спонтанном прогрессе культуры, неотделимом от общего прогресса социально-экономических формаций истории человечества. Эндогенные факторы действовали всегда. Дело еще и в том, что всем проявлениям культурного застоя все сильнее противодействуют экзогенные факторы развития — импульсы со стороны более продвинутого общества и культур. Такие импульсы также наблюдались во все времена, но в нынешних условиях неуклонно возрастающих межэтнических контактов и культурных взаимодействий они стали приобретать качественно новое значение. Как ни ненадежны исторические прогнозы, есть все основания считать, что наступит время, когда ускорившиеся темпы в развитии прогрессивных элементов культуры будут способствовать изживанию тех ее остаточных явлений, которые являются регрессивными.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Арутюнов С. А.** ЭТНОГРАФИЧЕСКАЯ НАУКА И ИЗУЧЕНИЕ КУЛЬТУРНОЙ ДИНАМИКИ.— В кн.: Исследования по общей этнографии. М.: Наука, 1979.

**Бромлей Ю. В.** ЭТНОС И ЭТНОГРАФИЯ. М.: Наука, 1973.

**Кабо В. Р.** ПРОБЛЕМА ПЕРЕЖИТКОВ В ЭТНОГРАФИИ.— Доклады Восточной комиссии Географического общества СССР, 1964, вып. 1.

**Маркарян Э. С.** УЗЛОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ КУЛЬТУРНОЙ ТРАДИЦИИ.— Советская этнография, 1981, № 2.

**Першиц А. И.** ТРАДИЦИИ И КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.— Народы Азии и Африки, 1981, № 4.

**Чистов К. В.** ТРАДИЦИОННЫЕ И «ВТОРИЧНЫЕ» ФОРМЫ КУЛЬТУРЫ.— Расы и народы. М.: Мир, 1975, вып. 5.

ЭТНОГРАФИЯ КАК ИСТОЧНИК РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИИ ПЕРВОБЫТНОГО ОБЩЕСТВА. М.: Наука, 1979.

<sup>6</sup> Арутюнов С. А. Этнографическая наука и изучение культурной динамики.— В кн.: Исследования по общей этнографии. М., 1979.

## SS433: новые результаты

**В. Г. Сурдин**,  
кандидат физико-математи-  
ческих наук

Государственный астрономический  
институт им. П. К. Штернберга  
Москва

Канадские астрофизики Д. Крэмптон и Дж. Хатчингс подтвердили вывод советских исследователей о том, что уникальный объект нашей Галактики SS433 является массивной затменной двойной системой, один из компонентов которой, возможно, — черная дыра<sup>1</sup>.

SS433 обладает необычным радио-, рентгеновским и оптическим излучением. Большинство исследователей считают, что это двойная система, выбрасывающая в двух противоположных направлениях с релятивистской скоростью струи газа<sup>2</sup>. Неясна природа компонентов этой системы и причина ее необычного поведения.

В оптическом спектре SS433 наблюдается сложное движение линий излучения и поглощения. Прежде всего, это движение линий излучения водорода и гелия, вызванное их доплеровским смещением с периодом 164 дня и амплитудой в десятки тысяч километров в секунду. Эти спектральные линии и связывают с излучением релятивистских газовых струй, которые вылетают из аккреционного диска, вращающегося вокруг компактного объекта. Что это за объект — нейтронная звезда или черная дыра, — и предстоит выяснить.

Периодическое смещение спектральных линий объясняется изменением ориентации газовых струй, которое вызвано прецессией вращающейся нор-

мальной звезды, газ с поверхности которой падает на компактный объект, образуя вокруг него вращающийся аккреционный диск. Под действием притяжения к компактному объекту ось вращения нормальной звезды прецессирует с периодом 164 дня. Это изменяет направление газовой струи, а значит, изменяет и ориентацию аккреционного диска, в который превращается струя вблизи поверхности компактного объекта. Таким образом, аккреционный диск прецессирует синхронно с нормальной звездой.

Кроме сильно смещающихся спектральных линий, связанных с релятивистскими газовыми струями, в спектре SS433 видны и так называемые «стационарные» линии излучения и поглощения водорода, гелия и ионизованного железа. При тщательном исследовании оказалось, что эти «стационарные» линии также перемещаются по спектру с периодом 13,1 дня и полной амплитудой 150 км/с. С самого начала было ясно, что 13,1 дня — это период обращения компонентов двойной системы. Но какой объект является источником «стационарных» линий, было непонятно.

Вначале некоторые исследователи, в том числе Крэмптон и Хатчингс, предполагали, что «стационарные» линии связаны с одним из компонентов системы и, следовательно, измеренная по этим линиям скорость является орбитальной скоростью двойной системы. Тогда, как показывали вычисления, масса каждого компонента должна быть невелика (порядка  $2M_{\odot}$ ), а компактный объект, скорее всего, должен быть нейтронной звездой.

Но помимо спектральных изменений, у SS433 наблюдаются и изменения оптического блеска с теми же периодами: 164 и 13,1 дня. В основном эти вариации связаны с взаимными затмениями нормальной звезды и горячего аккреционного диска. Составляя эти изменения блеска

со спектральными особенностями источника, А. М. Черепашук (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга), а затем и другие исследователи высказали предположение, что «стационарные» линии связаны не с компонентами двойной системы, а с излучением струи газа, перетекающего с поверхности нормальной звезды на компактный объект. Но тогда скорость, найденная по «стационарным» линиям, не является скоростью орбитального движения компонентов в двойной системе и, следовательно, отсутствует возможность определить их массы.

Получив в течение 74 ночей более 100 спектров источника SS433, Крэмптон и Хатчингс подтвердили, что линии водорода, гелия и ионизованного железа хаотично перемещаются по спектру в периоды повышенной активности источника и, по-видимому, в самом деле связаны с излучением движущейся газовой струи. В то же время линия излучения ионизованного гелия с длиной волны 4686 Å перемещается с периодом 13,1 дня и полуамплитудой 195 км/с, причем ее положение не зависит от активности источника. По всей вероятности, это излучение связано с центральными горячими областями аккреционного диска и, следовательно, положение линии 4686 Å в спектре отражает движение компактного объекта вокруг центра масс двойной системы.

Из скорости этого движения удалось довольно точно вычислить массу нормальной звезды: она оказалась равной примерно  $20 M_{\odot}$ . А использование всей имеющейся сейчас информации об источнике SS433, как считают авторы, дает возможность оценить и массу компактного объекта —  $6 M_{\odot}$ . Для нейтронной звезды это слишком большая масса, поэтому вполне возможно, что компактный объект в этой удивительной двойной системе является черной дырой.

<sup>1</sup> Crampton D., Hutchings J. — *Astrophys. J.*, 1981, v. 251, № 2. Part 1, p. 604.

<sup>2</sup> Колыхалов П. И., Любарский Ю. Э. Уникальный объект SS433. — *Природа*, 1981, № 12.

## 80-й рейс «Гломара Челленджера»

**А. Е. Сузюмов,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

Несколько рейсов «Гломара Челленджера» в заключительной части его Атлантической программы 1981 г. были посвящены изучению пассивных окраин океана. В 80-м рейсе, который начался 7 июня 1982 г. в Бресте (Франция) и завершился 22 июля в Саутгемптоне (Великобритания), исследовался участок континентального склона Западно-Европейской котловины в районе Бискайского залива. Перед участниками экспедиции, которой руководил П. де Грасиански (Высшая школа горного дела, Франция) и С. Поар (Геологическая служба США), стояли следующие научные задачи: установить, когда образовался континентальный склон; где проходит граница между материковой и океанической корой; какими были условия в период образования Бискайского залива в ходе рифтового процесса.

Континентальный склон спускается к глубоководному ложу океана ступенями. В 80-м рейсе две буровые скважины (548 и 549) были пройдены на самой крупной из них, расположенной на глубине от 1 до 2 км. Скважина 551 пробурена на нижней ступени, ниже крутого уступа Пендрагон, и еще одна (550) — на ложе океана вблизи подножия континентального склона.

<sup>1</sup> JOIDES Journal, 1981, v. VII, № 3, p. 12.



Расположение скважин.

По сейсмическим данным, континентальный склон — сложное геологическое образование: кристаллический фундамент склона в виде серии односторонних грабенов спускается в Западно-Европейскую котловину, а сами грабены заполнены осадками двух комплексов, между которыми наблюдается отчетливое несогласие. В ходе бурения удалось пройти всю толщу осадков и установить состав пород кристаллического фундамента континентального склона.

В скважинах 548 и 549 под осадочной толщей вскрыты черные сланцы, слабо метаморфизованные слюдястые песчаники, кварциты. Эти образования, претерпевшие интенсивную складчатость в герцинскую тектономагматическую эпоху (около 300 млн лет назад), коррелируются с отложениями Южной Англии. Участники рейса ожидали, что аналогичные породы герцинского возраста будут обнаружены и в скважине 551 на нижней ступени склона. Однако под мало-

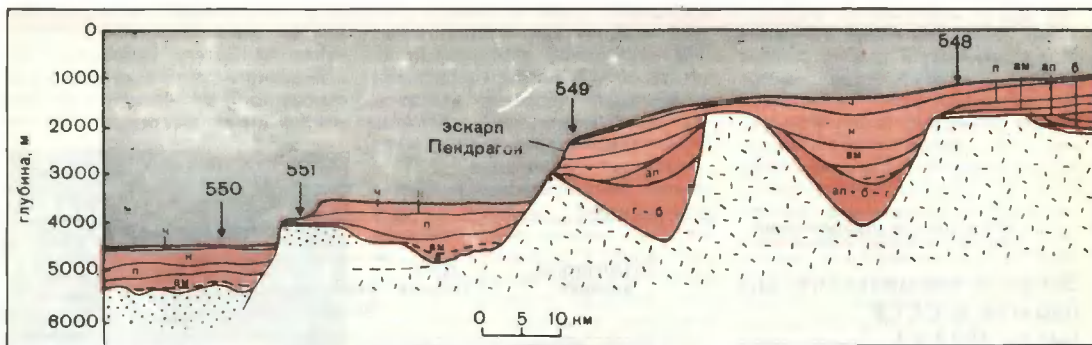
мощным слоем осадков там оказались океанические толеитовые базальты. Скважина прошла по ним 59 м, и бурение было остановлено. Скважина 550, расположенная на ложе океана, как и предполагалось, вскрыла толеитовые базальты. По палеонтологическим и палеомагнитным данным, их возраст близок к 100 млн лет. В это время возник узкий океанический бассейн, что подтверждается также наличием магнитной аномалии № 34 (85—100 млн лет).

Нижний комплекс осадочного чехла континентального склона состоит, как показала скважина 549, из карбонатных и бескарбонатных песчаных аргиллитов, доломитов, карбонатно-глинистых алевроитов. Мощность этих отложений в скважине невелика (290 м), однако, как видно на сейсмическом разрезе, к материке она увеличивается почти до 2 км. Возраст этих осадков раннемеловой (готерия — баррем; возможно, ближе к матерiku среди них присутствуют и аптские отложения). Верхний комплекс осадков представлен более глубоководными отложениями, имеющими возраст с конца раннего мела (альб) до настоящего времени. Разрез сложен преимущественно нанопланктонным и глинистым мелом, окрашенным в зеленые, коричневые и желтые тона, с прослоями красных песчаных доломитов в зоэне и турбидитных глинисто-песчаных отложений, приуроченных к рубежу миоцена и плиоцена. Четвертичные отложения представлены фораминиферо-нанопланктонными илами.

### Скважины 80-го рейса «Гломара Челленджера»

№ скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина скважины, м	Выход керна, %
	с. ш.	з. д.			
548	48°54,95	12°09,84	1256	211	99,9
549	49°05,28	13°05,88	2533	1001,5	45,5
550	48°30,96	13°26,32	4432	720,5	67,3
551	48°54,64	13°30,09	3909	201	64,8





Сейсмогеологический разрез континентального склона и местоположение скважин 548—551 (а — альб, ап — апт, б — баррем, вв — верхний мел, г — готерив, и — неоген, п — палеоген, ч — четвертичные осадки).

- Гарцинский фундамент
- Океанические осадки
- Нижний осадочный комплекс
- Верхний осадочный комплекс

Осадочный разрез ложа океана состоит из карбонатных глинистых сланцев альба — сантона, сменяющихся однородными массивными глинистыми сланцами кампана, а затем глинистым нанопланктонным мелом с прослоями турбидитов (мастрихт — палеоцен). Выше залегают нанопланктонные карбонатные илы и меловые породы зоцена — миоцена. Более молодые осадки были размыты при бурении.

Участники экспедиции реконструируют историю развития региона следующим образом. Разрушение материковой коры, приведшее в конце концов к образованию Северо-Атлантического бассейна, началось еще в триасе — около 200 млн лет назад. В начале мелового периода (в готеривское время) этот процесс захватил, в частности, район будущего Бискайского залива. Однако океанический бассейн с базальтовым ложем возник только в середине мелового периода, в аптское или раннеальбское время. На первом этапе, как и повсюду вдоль западной окраины Европы, на материковой коре образовались односторонние грабени, которые заполнялись мелководными

обломочными отложениями. На втором этапе, с возникновением океанического бассейна, началось в ходе спрединга дна постепенное формирование континентального склона; его глубина все более и более увеличивалась. Однако погружение склона и ложа океана, по литологическим данным, не было равномерным: наиболее быстро оно шло в течение первых 25 млн лет, а затем все более и более замедлялось. Это подтверждает существующую термическую модель развития континентальных склонов, согласно которой по мере отодвигания рифта и остывания литосферы погружение должно замедляться, пока глубина океана не достигнет уровня изостатического равновесия.

Литологические данные по скважине 549 позволили оценить первоначальную глубину, на которой образовался рифт. Первые осадки, соответствующие времени его образования (раннеальбские), отлагались около уровня моря; сейчас в результате погружения континентального склона они находятся на глубине 3188 м. Одновозрастные карбонатные отложения ложа океана ныне расположены на глубине 5117 м. Разница в этих двух отметках глубин составляет 1929 м. Следовательно, если погружение ложа океана и континентального склона шло синхронно, можно считать, что глубина дна молодого океана немногим превышала 1900 м.

На протяжении мела и кайнозоя процесс накопления осадков несколько раз прерывался. Во-первых, это произошло на рубеже апта и альба, когда создавалась океаническая пла-

дина. Кроме того, в разрезе во всех скважинах отмечаются перерывы в середине палеоцена, середине олигоцена, раннем и позднемиоцене. Эти стратиграфические уровни хорошо коррелируются с аналогичными перерывами на значительной площади в Атлантическом океане. Все они видны и на сейсмическом разрезе. Ранее высказывалось предположение, что они связаны с резкими изменениями уровня океана. Однако тот факт, что перерывы в осадконакоплении одновременно происходили и на шельфе, и на континентальном склоне, и даже на ложе океана, дал основание участникам рейса для другого вывода: в Северной Атлантике эти перерывы связаны с тектоническими движениями, изменениями в режиме водных масс, климатическими колебаниями.

Один из вопросов — где проходит граница между континентальной и океанической корой — остался невыясненным. В скважине 551 вместо ожидавшихся пород континентальной коры были вскрыты океанические базальты. На нижней ступени континентального склона, ниже уступа Пендрагон, судя по сейсмическим данным и бурению дна, отсутствуют осадки готерив-аптского возраста. Эти два факта, казалось бы, указывают на то, что граница между материковой и океанической корой проходит по уступу Пендрагон. Однако, полагают участники экспедиции, нельзя исключать того, что нижняя ступень склона была образована позднее остальных и что под базальтами в скважине 551 можно встретить породы континентальной коры.

## Космические исследования

**Запуски космических аппаратов в СССР (июль 1982 г.)**

В июле 1982 г. в Советском Союзе было запущено 15 космических аппаратов, в том числе 13 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой для исследования космического пространства. «Космос-1385 и -1387» продолжают исследовать природные ресурсы Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с них поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа».

Автоматический грузовой корабль «Прогресс-14» 12 июля 1982 г. состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-7» — «Союз Т-5» и доставил на станцию топливо, оборудование, аппаратуру и материалы для проведения научных исследований.

Очередной спутник связи «Молния-1» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

29 июля 1982 г. завершен полет орбитальной научной станции «Салют-6», продолжавшийся 4 г. и 10 мес. На «Салюте-6» успешно выполнили программы научных исследований 5 основных длительных экспедиций продолжительностью 96, 140, 175, 185 и 75 сут, а также 11 краткосрочных экспедиций, в том числе восемь международных по программе «Интеркосмос». Общее время функционирования станции в пилотируемом режиме составило 676 сут. За этот период осуществлено 35 стыковок с пилотируемыми и автоматическими ап-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1385»	6.VII	197	264	82,3	88,7
«Космос-1386»	7.VII	965	1 010	83	104,6
«Прогресс-14»	10.VII	192	258	51,6	88,7
«Космос-1387»	13.VII	219	271	82,3	89,1
«Космос-1388—1395»	21.VII	1 448	1 515	74	115,3
«Молния-1»	21.VII	650	38 900	63	701
«Космос-1396»	27.VII	208	323	72,9	89,5
«Космос-1397»	29.VII	346	549	50,7	93,4

паратами. В полете со станцией были проведены испытания усовершенствованного транспортного корабля «Союз Т». Надежной и эффективной оказалась система снабжения станции с помощью автоматических грузовых кораблей «Прогресс». Своевременные ремонтно-профилактические работы позволили значительно продлить срок активного функционирования станции «Салют-6».

В ходе выполнения научной программы, включавшей исследования земной поверхности и атмосферы, технологические эксперименты, астрофизические и медико-биологические исследования, технические эксперименты, получен большой объем разнообразной информации, которая широко используется сейчас в различных отраслях народного хозяйства, науки и техники нашей страны и других социалистических стран — участниц программы «Интеркосмос».

После завершения программы пилотируемых экспедиций на станции проводились дальнейшие испытания бортовых систем и агрегатов в условиях длительного космического полета. Так, более года продолжался совместный полет станции «Салют-6» и спутника «Космос-1267». На завершающем этапе была проведена заключительная проверка бортовых систем и агрегатов станции;

29 июля орбитальный комплекс был надлежащим образом сориентирован в пространстве, а в расчетное время включилась на торможение двигательная установка «Космоса-1267». Оба космических аппарата перешли на траекторию снижения, вошли в плотные слои атмосферы над заданным районом акватории Тихого океана и прекратили свое существование.

Полет научной станции «Салют-6» — важный шаг на пути создания постоянно действующих пилотируемых орбитальных комплексов.

## Астрофизика

**Структура источников жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек**

Значительная доля энергии солнечных вспышек выделяется в течение нескольких минут в виде быстрых электронов. О присутствии электронов с энергиями в несколько сотен кэВ свидетельствует жесткое рентгеновское излучение, которое подразделяется на импульсное с типичным временем изменения около 1 с и излучение с постепенным подъемом

и спадом интенсивности в течение десятков секунд.

Проведение наблюдений на нескольких спутниках одновременно позволяет определить направленность и пространственную структуру таких источ-



Положение искусственных спутников «ISEE-3» и «PVO» в момент солнечной вспышки 3 ноября 1979 г. (дана проекция на плоскость эклиптики).

ников «вспышечного рентгена». Редкое стечение обстоятельств, сложившихся на Солнце 5 ноября 1979 г., позволило группе С. Кейна (Калифорнийский университет и Лос-Аламосская национальная лаборатория, США) впервые измерить мощность излучения вспышек в рентгеновском диапазоне в зависимости от высоты над фотосферой.

Два американских искусственных спутника «ISEE-3» и «PVO» находились под углом 135° друг относительно друга (см. рис.), когда в активной области, расположенной под углом 45° к линии восток — запад на Солнце, в течение 6 ч произошли три вспышки. Со спутника «ISEE-3» были полностью видны все три события. Со спутника «PVO» полностью была видна первая вспышка, вторая частично, а третья почти полностью заслонилась фотосферой.

Ранее С. Кейном были получены данные о том, что рентгеновское излучение вспышки практически изотропно. Основываясь на этом факте, исследователи показали, что приблизительно 90% энергии импульсного рентгеновского излучения и 70% излучения, характеризующегося постепенным подъемом и спадом, формируется на расстоянии около 2500 км над поверхностью Солнца. Яркость рентгеновского излучения быстро убывает с высотой: при увеличении высоты в три раза поток уменьшается приблизительно в 10 раз.

Данные, полученные на спутниках «ISEE-3» и «PVO», не подтверждают теоретических моделей, в которых рентгеновское излучение вспышек объясняется свечением горячей оптически тонкой плазмы, а также тепловых моделей с адиабатическим сжатием и расширением плазмы, удерживаемой магнитными полями. Эти данные могут быть согласованы, в частности, с моделями, в которых рентгеновское излучение образуется в оптически плотной плазме на небольших высотах над фотосферой.

*Astrophysica and Space Science*, 1981, № 75, p. 163; *Astrophysical Journal (Letters)*, 1982, № 254, L 53 (США).

Астрофизика

### Продолжается поиск гравитационной линзы

Изображение далекого светящегося источника, например квазара, может сильно исказиться в результате притяжения света к массивному объекту (галактике или скоплению галактик), находящемуся вблизи траектории излучения. Массивный объект в этом случае будет играть роль гравитационной линзы. Разумеется, линзой такую систему можно назвать лишь условно. Если проводить аналогию с оптической линзой, то гравитационная обладает колоссальной аберрацией и не способна собрать излучение квазара в одной точке — фокусе. Она даже не спо-

собна значительно усилить яркость далекого источника. Но гравитационная линза все же может искривить траекторию световых лучей. Вполне возможно, что сама гравитационная линза окажется значительно менее яркой, чем далекий квазар, и обнаружить ее будет очень сложно. Тогда эффект гравитационной фокусировки проявится лишь в искажении изображения квазара: в простейшем случае вместо одного точечного объекта будут видны два или несколько изображений разной яркости одного и того же квазара на небольшом угловом расстоянии друг от друга. Поскольку гравитационный потенциал крупной галактики близок к гравитационному потенциалу на поверхности Солнца, то и угол отклонения световых лучей, проходящих вблизи такой галактики, составит (как и вблизи Солнца) несколько угловых секунд. Этого вполне достаточно, чтобы наземный телескоп отличил точечный источник излучения от группы световых пятен, возникающих в результате гравитационного отклонения лучей света.

Поиски гравитационной линзы начались несколько лет назад. В 1978 г. был обнаружен «двойной» квазар КР 1634,9+26,7 АВ, компоненты которого, разделенные расстоянием в 5", имели примерно одинаковое красное смещение, но совершенно разные спектры. Однако в 1979 г. был обнаружен квазар Q 0957+561 АВ, два оптических компонента которого, разделенные расстоянием в 5",7, имели не только одинаковое красное смещение ( $Z=1,4$ ), но и совершенно одинаковые линии в спектре<sup>1</sup>. Поскольку оба компонента квазара оказались сравнительно яркими (17<sup>m</sup>), в их спектрах были обнаружены линии излучения и поглощения многих химических элементов (железа, алюминия, углерода, магния, кремния); все они совпали по интенсивности и по положению относительно лабораторной системы отсчета. Правда, радиоизображение двойного

<sup>1</sup> Муханов В. Ф. Гравитационная линза во Вселенной? — Природа, 1980, № 10.

кварзара было не столь симметричным, как оптическое.

В 1980 г. был обнаружен уже «тройной» квазар Q 1115+080<sup>2</sup>. Три его компонента, разделенные промежутками в 2", имели яркость 16<sup>m</sup>, 30; 18<sup>m</sup>, 17 и 18<sup>m</sup>, 64. Предполагалось, что наиболее яркий компонент является слившимися вместе двумя близкими изображениями квазара, а еще одного, пятого изображения квазара не видно из-за малой яркости. Гравитационной линзой, способной создать такое сложное многокомпонентное изображение квазара, должна быть массивная спиральная галактика, наблюдаемая почти с ребра. Однако обнаружить саму галактику в случае «тройного» квазара, как и для «двойного» квазара, до сих пор не удалось.

Недавно американский астроном Д. Уидман в созвездии Рыб обнаружил еще один «двойной» квазар Q 2345+007 AB. Он представляет собой две слабые голубые звездочки на расстоянии 7",3 друг от друга; их визуальная яркость составляет 19<sup>m</sup>,5 и 21<sup>m</sup>. Оба компонента имеют одинаковое красное смещение и одинаковую интенсивность линий углерода, кислорода и кремния (линии других элементов пока не обнаружены). Отличие этого квазара от двух предыдущих состоит в том, что это самый удаленный от нас «кратный» квазар: его красное смещение равно 2,15. Источник гравитационной фокусировки — далекая галактика, как и в предыдущих случаях, пока не найден. *Astrophysical Journal Letters*, 1982, v. 255, № 1, part 2, L 5—L 9 (США).

#### Планетология

### Океан под поверхностью Ганимеда!

Результаты исследований с борта автоматических станций, посетивших окрестности Юпи-

тера, говорят о том, что около половины массы крупнейшего из его спутников — Ганимеда — приходится на долю воды. На таком удалении от Солнца вода должна замерзнуть. В пользу ледяного покрова Ганимеда свидетельствует и очень высокая отражающая способность его поверхности. Однако одни специалисты утверждали, что радиоактивный распад элементов, сконцентрированных в ядре столь крупного спутника, приводит к выделению тепла, достаточного, чтобы растопить глубокий лед. Другие возражали, что подобное количество тепла вполне может рассеиваться за счет конвекции в твердом теле (льде) и температура при этом не поднимается до точки плавления льда.

Чтобы решить эту задачу, группа сотрудников Парижского университета, возглавляемая Ж.-П. Пуарье, провела лабораторное моделирование физических условий, существующих на Ганимеде. В листе прокаленной медной фольги, зажатой между двумя сапфировыми дисками, было сделано 0,6-миллиметровое углубление, заполненное водой, содержащей мелкую пыль из окиси алюминия. Исследовалось изменение состояния воды при постепенном увеличении давления и одновременном понижении температуры. При 20°С и давлении 9 кбар жидкая вода превращалась в так называемый лед VI, отличающийся от обыкновенного более плотной упаковкой молекул.

Ранее в работах Э. Парментье и Дж. Хеда (Браунский университет, штат Род-Айленд, США) было показано, что твердофазная конвекция осуществляется достаточно интенсивно, пока вязкость льда не превышает 10<sup>17</sup> Пз (вязкость обычного льда равна 10<sup>14</sup>—10<sup>15</sup> Пз).

Французские исследователи измерили вязкость образца, регистрируя скорость перемещения траассирующих частиц окиси алюминия из его центра, где давление было наибольшим, к периферии. При давлении от 10,8 до 12,2 кбар и температуре на 10—16° ниже точки плавления льда VI его вязкость изменялась в пределах 2,4 · 10<sup>13</sup>—1,4 · 10<sup>14</sup> Пз, т. е.

лед VI остается в обычном состоянии и возможна твердофазная конвекция.

Был сделан вывод, что лед на глубине нескольких километров в недрах Ганимеда обладает вязкостью не большей, чем на поверхности спутника, несмотря на огромную разницу в давлении.

Хотя, как показали французские исследователи, под ледяной корой Ганимеда сейчас нет слоя жидкой воды, они не отрицают возможности существования такого слоя на более ранней стадии формирования этого спутника, когда быстро происходившие процессы аккреции вещества вызвали накопление тепла. Однако со временем это тепло должно было в основном рассеяться.

Таким образом, поставленная под сомнение гипотеза «захороненных» океанов, якобы существующих сейчас на Ганимеде.

*Nature*, 1981, v. 292, № 15 820, p. 225—227 (Великобритания).

#### Планетология

### Кора на континенте Луны

Первоначально кора на Луне была открыта и исследована в равнинном приэкваториальном районе видимого полушария (Море Познание). Здесь на глубине 55—60 км была обнаружена граница кора—мантия, а также зафиксировано изменение свойств коры на глубине 20—25 км. В верхнем слое коры скорость пробега сейсмических волн быстро растет с глубиной по мере уплотнения пород и составляет в среднем 5,1 км/с для продольных и 2,9 км/с для поперечных волн. В нижней части коры эта скорость почти постоянна (соответственно 6,8 и 3,9 км/с). Скорость пробега в породах верхнего слоя близка к значению, характерному для лунного базальта, а скорость сейсмических волн в нижнем слое коры соответствует габбро-анортозитовому составу пород. Поэтому делался вывод, что

<sup>2</sup> Сурдин В. Г. Тройной квазар — эффект гравитационной линзы? — *Природа*, 1981, № 10.

«сейсмическая» граница внутри коры вызвана сменой состава пород. Из косвенных геологических данных предполагалось, что толщина коры увеличивается до 100 км в континентальных районах и до 120—150 км — на обратной стороне Луны.

Исследователи Массачусетского технологического института (США) изучали структуру коры в континентальном районе, вблизи кратера Декарт, отличающемся почти полным отсутствием эпицентров лунотрясений. В эксперименте использовались волны от глубоководных источников — приливных лунотрясений, очаги которых располагаются на границе лунной литосферы и астеносферы, на глубине 700—1100 км, так что сейсмические волны, прежде чем прийти к сейсмометрам станции «Аполлон-16», пронзали лунную литосферу почти по вертикали. На сейсмограммах удалось выделить волны, которые изменили характер колебаний с поперечных на продольные, а также волны, «пойманные» в слое коры, т. е. многократно отраженные от поверхности Луны, от границы в коре и от границы кора — мантия.

Хотя интенсивность этих волн составляла всего 10—15% от исходных, их удалось заметить благодаря использованию узконаправленных «сейсмических антенн» — поляризационных фильтров. Сравнение теоретических и экспериментальных сейсмограмм показало, что толщина коры на Декарте всего лишь на 15 км больше, чем в Море Познания.

Кроме того, в коре континента Луны на той же глубине (20 км), что и в морском (равнинном) районе, была обнаружена промежуточная граница. Это явилось полной неожиданностью. По-видимому, эта граница представляет глобальную особенность структуры лунной коры (подобно тому, как реголит в морях и континентах проявляет одни и те же сейсмические свойства, несмотря на разный состав<sup>1</sup>). Прежнее

предположение о природе верхнего слоя коры представляется маловероятным. Базальтовая «нашлепка», судя по фотографическим и геологическим данным, должна быть не толще 1—4 км. Состав остальной части верхнего слоя одинаков с нижним: это габбро-анортозиты, но сильно разбитые трещинами от ударов метеоритов. На глубине же 20—25 км, где давление достигает критического значения 1 кбар, трещины закрываются, и нижний слой коры оказывается достаточно однородным по сейсмическим свойствам.

Geophysical Research Letters, 1981, v. 8, № 1, p. 29—32 (США).

#### Астрономия

### Происхождение Харона

Внимание астрономов привлек Харон — недавно открытый спутник планеты Плутон. Его масса мала — она значительно уступает, например, массе Луны; однако время полного оборота Харона вокруг оси, составляющее 6,39 суток, «излишне» велико, по сравнению с периодами обращения других спутников планет Солнечной системы.

Еще в 1936 г. высказывалась гипотеза, согласно которой Плутон первоначально представлял собой спутник, обращавшийся вокруг Нептуна с периодом 6,39 суток; затем он каким-то образом превратился в планету с собственной околосолнечной орбитой. Математическое моделирование, проведенное различными исследователями в последние годы, говорит в пользу такого предположения.

Д. Лин (Ликская обсерватория, Санта-Крус, штат Калифорния, США) выполнил ряд новых вычислений, позволяющих судить об истории происхождения Плутона и Харона. Согласно расчетам Лина, если бы Харон обращался вокруг Плутона, когда Плутон был еще спутником Нептуна, приливное воздействие Нептуна привело бы к столкновению обоих спутников через 1 млн лет после их возникновения. Возможно,

правда, что система Плутон — Харон образовалась в то время, когда Плутон покидал околонептунную орбиту, и поэтому столкновения спутников не произошло.

Д. Лин указал также на тот факт, что отношение массы Харона к массе Плутона составляет около 1:10; это в 10 раз превышает соответствующую величину для Луны и Земли и на много порядков больше — для любого другого спутника любой планеты Солнечной системы. Угловой момент системы Плутон — Харон в относительных единицах также много больше, чем где-либо еще в Солнечной системе. Возникло предположение, что Плутон и Харон когда-то представляли собой единое тело, вращавшееся со столь большой скоростью, что в конце концов оно разделилось на два. Остается, однако, непонятным, как Протоплутон приобрел столь большую скорость вращения.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1981, v. 197, p. 1081; New Scientist, 1981, v. 93, № 1288, p. 80 (Великобритания).

#### Математика

### Краффордская премия — советскому математику

В 1980 г. Шведская академия наук учредила международную Краффордскую премию, правила присуждения которой отличаются от правил присуждения Нобелевской премии. Раз в год ее лауреатом становится ученый любой страны, работающий в области математики, астрономии, наук о Земле, биологии. Сначала выбирается область науки, а затем — один или несколько лауреатов (премия может быть разделена между двумя или тремя учеными). Учитываются советы ведущих специалистов мира, которые опрашиваются в конфиден-

<sup>1</sup> См.: Сейсмические свойства поверхностного слоя Луны. — Природа, 1981, № 12, с. 109.

<sup>1</sup> Подробнее об этой премии и ее основателях см.: — Природа, 1981, № 4, с. 119.

циальном порядке о выборе области науки и кандидатов.

Первая Краффордская премия присуждена в мае этого года за выдающиеся достижения в области нелинейных дифференциальных уравнений Луи Ниренбергу — профессору Курантского института в Нью-Йорке (США) и Владимиру Игоревичу Арнольду — профессору Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Несколько слов о работах по нелинейным уравнениям. Маленький отрезок гладкой кривой похож на отрезок прямой. Замена криволинейного отрезка прямолинейным называется линеаризацией. Линейными являются уравнения малых колебаний маятника, либрации Луны или искусственного спутника Земли. Нелинейные уравнения описывают все явления, в которых линеаризация недопустима. Нелинейность становится важной в теории колебаний при больших амплитудах. Нелинейные явления будут решающими и с повышением интенсивности света, поэтому лазерная оптика в основном нелинейна. Классической нелинейной областью является небесная механика. Трудности при решении нелинейных задач требуют от математиков все новых методов. Так, из оптики и небесной механики возникла симплектическая геометрия (исследования Р. Гамильтона и К. Якоби), а также топология (А. Пуанкаре).

Из работ В. И. Арнольда по нелинейным уравнениям наиболее известны 3 цикла исследований:

1. Теория устойчивости гамильтоновых систем (за которую В. И. Арнольд вместе со своим учителем А. Н. Колмогоровым удостоен в 1965 г. Ленинской премии) позволяет делать качественные топологические заключения о глобальном поведении кривых, определяемых нелинейными дифференциальными уравнениями. Ее можно применять, например, к исследованию хода магнитных линий в системах по удержанию плазмы типа токамак. Чтобы магнитное поле удерживало плазму, его силовые линии не должны выходить из ограниченного (торического) объема. В

идеальном случае магнитные линии образуют поверхности; возмущение идеального поля сбивает эти линии с поверхности. Теория, разработанная Арнольдом и Колмогоровым, показывает, что при малом возмущении поля разрушаются не все поверхности, а только малая их часть, остальные лишь немного деформируются.

2. Из результатов В. И. Арнольда в теории гидродинамической неустойчивости, основанных на современных представлениях о стохастизации динамических систем (работы С. Смейла, Я. Г. Синая и Д. В. Аносова), следует, в частности, принципиальная невозможность долгосрочного динамического прогноза погоды. Дальнейшее развитие этого круга проблем привело к революционной идее странных аттракторов<sup>2</sup>.

3. Частью теории нелинейных уравнений являются также теории особенностей, бифуркаций и катастроф<sup>3</sup>. Построенная В. И. Арнольдом теория особенностей и метаморфоз каустик и волновых фронтов позволяет решать задачи симплектической геометрии, изучение которых было начато в рамках геометрической оптики еще Х. Гюйгенсом, И. Ньютоном и Г. Лейбницем. Метод исследования каустик и фронтов основан на обнаруженной В. И. Арнольдом связи этих объектов с геометрией правильных многогранников и кристаллографических групп симметрии. Описание перестроек каустик применяется, например, в принадлежащей Я. Б. Зельдовичу теории образования скоплений на ранней стадии развития Вселенной.

**А. Г. Хованский,**  
кандидат физико-математических наук  
Москва

<sup>2</sup> О теории странных аттракторов см.: Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем.— Природа, 1981, № 2; Синай Я. Г. Случайность неслучайного. Природа, 1981, № 3.

<sup>3</sup> Арнольд В. И. Теория катастроф.— Природа, 1979, № 10.

Физика

## Длительность лазерного импульса — 30 фемтосекунд

Ультракороткие импульсы света широко используются для исследования быстротекущих процессов — релаксации неравновесных носителей в полупроводниках, кинетики фотохимических реакций, разлета лазерной плазмы и т. д. Чем короче импульсы, тем более высокие временное разрешение может быть достигнуто.

Обычно наиболее короткие импульсы, порядка нескольких пикосекунд ( $1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$ ), формируются при самосинхронизации лазерных мод<sup>1</sup>. Для этого между зеркалами резонатора помещают поглощающую ячейку с нелинейной характеристикой. Эта ячейка не пропускает слабых сигналов, а излучение большой интенсивности проходит почти без потерь, т. е. центральная часть импульса, имеющая максимальную интенсивность, не искажается, а часть импульса с меньшей интенсивностью поглощается в ячейке. В результате при многократных проходах через такой поглотитель длительность светового импульса значительно сокращается.

Исследователи из лаборатории «Белл» (США), используя кольцевой лазер (на красителе родамин-6Ж с накачкой от аргонового лазера), получили последовательность импульсов длительностью 90 фемтосекунд ( $1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$ ). В таком лазере два импульса распространяются навстречу друг другу, усиливаясь в активной среде и поглощаясь в нелинейной ячейке, воздействие которой на форму импульса в данном случае особенно сильно. Когда встречные импульсы перекрываются внутри ячейки, ее прозрачность резко возрастает за счет усиления поля в симмет-

<sup>1</sup> Об успехах в этом направлении см., например: Ахманов С. А., Коротева Н. И. Лазерная спектроскопия рассеяния света — новые эффекты и новые методы.— Природа, 1976, № 7.

мах интерференционной картины. Наведенная таким образом в поглотителе периодическая структура коэффициента поглощения синхронизирует, стабилизирует и укорачивает сталкивающиеся импульсы.

Однако очень сложно непосредственно измерить длительность столь коротких импульсов. Исследователи воспользовались высокой повторяемостью формы импульсов и частоты их следования и провели измерения с помощью автокорреляционного метода. При прохождении импульса через нелинейный кристалл возникает излучение удвоенной частоты с интенсивностью, пропорциональной квадрату интенсивности импульса. Сводя в одном кристалле импульсы, прошедшие разные оптические пути, можно судить об их длительности по полной энергии излучения второй гармоники: когда два импульса в кристалле перекрываются, выделяется большее количество энергии. Степень перекрытия можно легко менять, варьируя длину оптических путей.

В апреле 1982 г. на конференции по лазерам и электрооптике в Вашингтоне те же авторы сообщили о получении еще более коротких импульсов — до 30 фс. Такой импульс содержал всего 15 периодов колебаний.

Applied Physics Letters, 1981, № 38, p. 671;  
Conference on Lasers and electrooptics 1982. — Technical Digest. Washington, p. 32 (США).

Физика

**Измерено время жизни  $\tau$ -лептона**

В экспериментах на электрон-позитронном накопительном кольце «PEP» (Станфорд, США) определено время жизни  $\tau$ -лептона<sup>1</sup>, оказавшееся равным  $t_{\tau} = (4,6 \pm 1,9) \cdot 10^{-13}$  с. Ранее была известна лишь верх-

няя граница этой величины:  $t_{\tau} < 5,7 \cdot 10^{-13}$  с.

Результат получен группой, работающей с детектором «MARK-II».  $\tau$ -Лептоны рождались в столкновениях встречных электронов, ускоренных до энергии 14,5 ГэВ. Было изучено около 1500 случаев рождения  $\tau$ -лептонов в реакции  $e^+e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$ ; для 126 из этих событий найдены распады на другие частицы. Измерение расстояния между точками рождения и распада  $\tau$ -лептонов, составившего  $(1,07 \pm 0,37)$  мм, дало возможность определить время жизни этой частицы.

Проведенный эксперимент позволяет проверить так называемое свойство  $e = \mu = \tau$ -универсальности. Как известно, электрон  $e$ , мюон  $\mu$  и  $\tau$ -лептон отличаются друг от друга лишь массой и, как следствие, свойствами распадов. Во всем остальном эти частицы подобны друг другу. В частности, в теории электрослабых взаимодействий предполагается, что константа Ферми  $G$ , характеризующая интенсивность слабых взаимодействий, является универсальной величиной, одинаковой для всех заряженных лептонов. В этом случае, согласно теории, время жизни  $\tau$ -лептона должно составлять  $(2,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-13}$  с. Сравнение предсказания с данными эксперимента показывает, что в пределах ошибки теория не противоречит эксперименту.

Physical Review Letters, 1982, v. 48, № 2, p. 66 (США).

Физика

**Туннелирование электрона через вакуумную щель**

Группа сотрудников исследовательской лаборатории фирмы «ИБМ» (Цюрих, Швейцария) провела эксперимент, доказавший осуществимость эффекта туннелирования электрона через вакуумную щель между двумя кристаллами. Туннелирование (т. е. квантовое «просачивание» через потенциальный барьер) хорошо известно в физике, но как метод спектроскопии оно развивалось исключительно для барьеров внутри твердого тела. Проводились эксперименты с

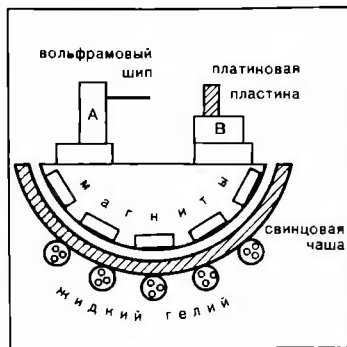


Схема эксперимента по туннелированию электрона через вакуумную щель. А и В — контакты, помещенные на подвижные подставки.

туннелированием через безвоздушный зазор между двумя плоскими поверхностями кристалла, однако они оказались безуспешными: из-за вибрации кристаллических поверхностей величина зазора менялась произвольным образом и иногда даже происходило соединение (закорачивание) этих поверхностей.

В описываемом эксперименте вся установка защищалась от вибрации двояко. Во-первых, исключалась вибрация здания; вакуумная установка с образцами была поставлена на тяжелое основание, «плавающее» на надутых резиновых трубах. Во-вторых, отфильтровывались внутренние вибрации экспериментальной системы как целого; это осуществлялось с помощью статической магнитной левитации (т. е. неподвижного парения в пространстве) образцов с туннельным контактом. С этой целью система для туннелирования была смонтирована на основании из сильных постоянных магнитов, парящих над сверхпроводящей свинцовой чашей, которая охлаждалась жидким гелием (см. рис.). Так как магнитные силовые линии не проникают в сверхпроводник, то образец, установленный на магнитах, не может опуститься на дно чаши. Зазор между магнитами и чашей одновременно играет и роль теплоизоляции, так что система для туннелирования имеет температуру всего на несколько градусов меньше комнатной.

<sup>1</sup> Подробнее об открытии и свойствах  $\tau$ -лептона см.: Азимов Я. И., Хозе В. А. Тяжелые кварки и лептоны. — Природа, 1979, № 5.

Туннелирование электронов проходило между шипом из вольфрама и платиновой пластиной. Чтобы исключить передачу вибрации через провод, подводящие напряжение, подставки для контактов делались так, чтобы они могли свободно передвигаться по плоскости в любом направлении с одновременным электронным измерением этого превращения.

Вся установка помещалась в вакуумную камеру, давление в которой составляло  $10^{-6}$  мм рт. ст. (В вакууме различные примеси, осаждающиеся на поверхности кристалла, испаряются, что позволяет получать атомарно чистые поверхности.)

В эксперименте впервые была получена экспоненциальная зависимость туннельного тока от расстояния между двумя образцами; теоретически такая зависимость была предсказана еще в 1928 г.

Преимущества вакуумных туннельных контактов очевидны: они наиболее просты в изготовлении, а измерения с их помощью легко осуществимы.

Проведенный эксперимент был первым этапом в развитии сканирующей туннельной микроскопии, цель которой — поточечное сканирование поверхности кристалла туннельным током и исследование, таким образом, ее локальных свойств.

Applied Physics Letters, 1982, v. 49, № 2, p. 178—180 (США).

#### Физика

### Электрическое поле в диэлектрике измерено с помощью ударных волн

Когда диэлектрик применяется в качестве электрета или изолятора, необходимо знать поведение внесенного в него объемного и поверхностного заряда, их пространственное расположение, картину электрического поля. Способы, предлагавшиеся ранее, были, как правило, связаны с разрушающим воздействием на диэлектрик: его разрезали на тонкие слои, зондировали пучком быстрых электронов и т. п.

Исследователи из Высшей школы прикладной физики и химии (Франция) определили картину электрического поля в диэлектрике тефлоне с помощью возбуждения в нем бегущих ударных волн сжатия.

Как показали теоретические расчеты, распределение поля и зарядов можно найти путем численного решения интегрального уравнения, связывающего изменение разности потенциалов (которое наблюдается при прохождении ударной волны в образце) с известными из эксперимента профилем давления в волне сжатия и поляризуемостью диэлектрика. Когда сквозь заряженный диэлектрик проходит ударная волна, вещество за ее фронтом оказывается сжато, так что изменяются его диэлектрическая проницаемость и электрический потенциал. По найденному закону изменения потенциала по мере прохождения волны и была рассчитана исходная картина поля.

Образец представлял собой диск, состоящий из двух дисков равной толщины, склеенных проводящим клеем. Плоское распределение заряда между дисками создавалось путем зарядки клея фиксированным количеством электричества. Из теории хорошо известно, что равномерно заряженная плоскость создает в однородной среде слева и справа от себя однородное электрическое поле, направление которого меняется скачком на противоположное при переходе через зарядовый слой. Именно эта теоретическая картина и была проверена экспериментально.

Измерялось изменение разности потенциалов между двумя поверхностями диска, которая возникла при прохождении сквозь образец ударной волны. Для возбуждения ударных волн и измерения разности потенциалов к торцам диска были приклеены алюминиевые пластинки-электроды толщиной 1,5 мм (передний электрод был заземлен), которые облучались ультракороткими и мощными импульсами света от  $\text{CO}_2$ -лазера. Профиль давления в волне, распространявшейся от переднего электрода к заднему, измерялся с помощью пьезоэлектрического датчика, прикрепленного к зад-

нему электроду. Время нарастания давления на фронте равнялось 10 нс, а скорость самой волны была порядка 1300 м/с.

По мере распространения фронта сжатия диэлектрическая проницаемость диэлектрика слева и справа от зарядового слоя все более различалась, а поле становилось все более несимметричным. В результате между электродами возникла разность потенциалов, достигавшая максимума, когда фронт ударной волны проходил зарядовый слой, и обращалась опять в нуль, когда фронт достигал заднего электрода.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 20, p. 1483—1487 (США).

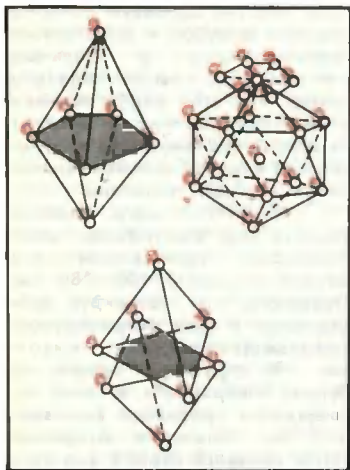
#### Физика

### «Магические» числа атомов в кластерах свинца и сурьмы

В 1981 г. исследователи из университета Констанцы (ФРГ) наблюдали кулоновские взрывы заряженных микрокластеров<sup>1</sup>. Недавно та же группа установила, что микрокластеры свинца и сурьмы сильнее всего связаны, когда состоят из определенного («магического»), по выражению авторов) числа атомов. Для свинца такие «магические» числа равны 7, 10, 13, 17, 19; повышенная энергия связи наблюдается также для 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 и 110 атомов. Для «магических» чисел, меньших 20, прослеживалась также связь со структурой микрокластера; при больших числах атомов в кластере структурная зависимость не была обнаружена.

Строгой теории наблюдаемого явления пока нет, однако, как считают авторы работы, полученные результаты можно объяснить с помощью модели «оболочек». Согласно этой модели, кластеры с заполненными оболочками (т. е. с «магическим» числом атомов) наиболее сильно свя-





Модели кластеров из 7 и 19 атомов свинца (вверху) и 8 атомов сурьмы (внизу).

заны; добавление лишнего атома скачком уменьшает энергию связи всего кластера. Так, семь атомов свинца образуют в пространстве пятиугольную бипирамиду; его 13 атомов составляют двадцатигранник, а для 19 атомов структура кластера принимает вид двадцатигранника с шапкой из 6 атомов.

Для сурьмы «магические» числа составили 8, 36, 52, 84. Такие значения этих чисел авторы объясняют, приняв для сурьмы в качестве основной упаковочной единицы структуры тетраэдр; кластер, образованный 8 атомами, состоит из двух таких тетраэдров, сцепленных основаниями и повернутых на 60° друг относительно друга. Кластеры с «магическими» числами 36, 52 и 84, в соответствии с такой моделью, имеют своей основой ядро, состоящее из упакованных в форме тетраэдра 20 атомов сурьмы; к каждой грани этого тетраэдра прикрепляется одна, две или три «молекулы» сурьмы  $Sb_4$ , соответственно. Каждая такая «молекула», в свою очередь, состоит из 4 атомов, расположенных также в вершинах тетраэдра.

Интересно, что «магические» числа не зависят от условий формирования кластеров: температуры печи, вида и температуры инертного газа,

в котором происходила конденсация кластеров, давления в зоне конденсации и размеров этой зоны.

Physics Letters, 1982, v. A87, № 8, p. 415—420 (Нидерланды).

Молекулярная биология

Организация генов рибосомных белков у эукариот

Рибосомы — субклеточные структуры, осуществляющие синтез разнообразных белков. Сейчас достигнуты значительные успехи в изучении структурной организации и механизма функционирования бактериальных рибосом (70 S типа). Эукариотические (80 S) рибосомы менее исследованы, но уже сейчас очевидно, что принципы структурной организации и функционирования для них сходны с бактериальными рибосомами. В последнее же время все большее внимание привлекает проблема образования рибосом из отдельных компонентов как в про-, так и в эукариотических клетках, а именно: как же происходит координация синтеза индивидуальных компонентов рибосомы? Например, эукариотическая рибосома из клеток дрожжей построена из 4 типов рРНК и примерно 75 белков и ни один из этих компонентов не накапливается в свободном состоянии в цитоплазме клеток. Следовательно, существует некая система координированной регуляции синтеза рибосомных компонентов<sup>1</sup>.

Для эукариотических рибосом этот вопрос изучали американские специалисты Х. Фрид, Н. Персон, Ч. Ким и Д. Уорнер (Отдел биохимии и клеточной биологии Медицинского колледжа им. Эйнштейна, Нью-Йорк, США). Они исследовали органи-

зацию генов рибосомных белков у пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и возможные пути регуляции их синтеза. С помощью методов генной инженерии они выделили 15 генов, кодирующих рибосомные белки дрожжей, и сравнили их свойства со свойствами генов рибосомных белков из кишечной палочки *E.coli*. Оказалось, что хотя рибосомные белки в про- и эукариотических организмах выполняют сходные функции и часто обладают значительной гомологией, их генная организация существенно различна. Так, в кишечной палочке гены рибосомных белков располагаются группами (до 20 в каждой группе). В противоположность этому гены рибосомных белков дрожжей разбросаны по разным участкам генома и практически не встречаются группами.

Другое различие касается дозы гена, т. е. количества структурных генов, кодирующих один рибосомный белок. Если у бактерий имеется лишь один ген для каждого из рибосомных белков, то в клетках дрожжей по крайней мере часть генов присутствует во множественных копиях. (Для рибосомных белков мыши также обнаружена множественность генов.)

Еще одна интересная особенность строения рибосомных белков: они содержат интроны<sup>2</sup>, что также отличает их от бактериальных генов. Обнаружение мозаичного строения генов рибосомных белков у дрожжей изменило и представления о строении ядерных генов у дрожжей в целом: до последнего времени считалось, что интрон-экзонное строение характерно преимущественно для митохондриальных генов дрожжей, а ядерные гены, как предполагалось, не содержат вставок (за единственным исключением гена актина).

Journal of Biological Chemistry, 1981, v. 256, № 19, p. 10176—10183 (США).

<sup>1</sup> См.: Как регулируется образование рибосомных белков.— Природа, 1981, № 10, с. 106.

<sup>2</sup> См.: «Мозаичное» строение генов.— Природа, 1980, № 8, с. 109; Обнаружено функциональное назначение интронов.— Природа, 1980, № 10, с. 112.

## Об эволюции генов актина

В последние годы благодаря развитию методов секвенирования ДНК (т. е. определения в ней последовательности нуклеотидов) накапливается все больше данных о первичной структуре и других особенностях строения генов, кодирующих один и тот же белок в разных организмах. Это позволяет изучать пути эволюции генетического материала на молекулярном уровне.

Ген актина в клетках пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* представлен лишь одной копией и содержит некодирующий участок — интрон длиной в 309 пар оснований, который располагается вблизи 5'-конца гена. В генах актина из других организмов интроны в этом положении не обнаружены. Поэтому возник вопрос: отличается ли строение генов актина у близких видов дрожжей — *Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces carlsbergensis*?

С этой целью западногерманские исследователи из Института физиологической химии при Университете г. Марбурга выделили ген актина из дрожжей *Saccharomyces carlsbergensis*, клонировали его в клетках кишечной палочки *E. coli* и определили его полную нуклеотидную последовательность. Сравнив полученные данные с результатами по определению первичной структуры гена актина из дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, они установили что как кодирующие участки, так и 5'- и 3'-нестранслируемые фрагменты генов актина из этих двух организмов идентичны. Расположение интрона также одинаково в этих генах, однако в его структуре имеется несколько отличий: одна инсерция (вставка), одна транзиция (замена нуклеотидов одного типа) и одна трансверсия (замена нуклеотидов разного типа). Авторы предположили, что интрон является наиболее быстро эволюционирующим элементом в составе эвкалиотиического гена.

<sup>1</sup> См.: Строение актиновых генов.— Природа, 1981, № 2, с. 108.

Эти данные подтверждають гипотезу П. Ледера<sup>2</sup> о существовании двух типов эволюции генов: медленных изменений в составе кодирующих участков генов, главным образом за счет точечных мутаций, и быстрых изменений (вставок или потерь), которые происходят в некодирующих областях. Следует напомнить, однако, что представление об интронах как о некодирующих элементах в настоящее время может быть признано весьма условным, поскольку эти элементы в некоторых случаях несут информацию о белках, необходимых для «созревания» образующихся на них транскриптов<sup>3</sup>.

Journal of Molecular and Applied Genetics, 1981, v. 1, № 3, p. 239—244 (США).

## Вирусология

### Открыт еще один онкогенный вирус

До сих пор удалось обнаружить 2—3 вируса, которые, бесспорно, причастны к возникновению опухолей у людей. Недавно группа американских и японских исследователей сообщила об открытии еще одного онкогенного вируса.

Эта работа началась в 1975 г., когда Р. Галло (Национальный институт рака, Бетезда, США) выделил вирус у людей, больных довольно редкой формой лейкемии — лейкемией Т-лимфоцитов. Почти одновременно такой же вирус выделил Й. Хинума (Университет г. Киото, Япония).

Последующие годы были потрачены на получение достаточно убедительных данных о причастности вируса к возникновению заболевания. Необходимо было доказать возможность перехода здоровых Т-лимфоцитов в больные под воздействием вновь открытого вируса. Группе Й. Хинумы уда-

лось Т-клетки здоровых доноров заразить вирусом и добиться их трансформации в больные Т-лимфоциты. Было показано также, что этот вирус встроен в геном больных клеток. Следует отметить, что подобные результаты на клетках человека ранее никем не были получены.

В 1980 г. вирус удалось увидеть под электронным микроскопом; характерный его размер составлял 100—180 нм. Оказалось, что этот вирус принадлежит к типу ретровирусов, вызывающих лейкемию у животных. По структуре одного из белков поверхности, а также по некоторым признакам вызываемой им патологии открытый вирус оказался схож с вирусом бычьей лейкемии.

Другим важным доказательством причастности вируса к Т-лейкемии послужило обнаружение в крови больных Т-лейкемией специфических антител, вырабатываемых организмом против этого вируса. Такие же антитела были найдены в крови ближайших родственников больных. Кроме того, в некоторых районах юго-западной части Японии, где заболевание Т-лейкемией наблюдается постоянно и процент больных сравнительно высок, в крови у 20—40% здоровых людей были также обнаружены антитела против этого вируса.

Science, 1981, v. 214, № 4520, p. 530—531 (США).

## Физиология

### Первые гидразиды с антигормональной активностью

Женские и мужские половые гормоны (эстрогены и андрогены) относятся к обширному классу химических регуляторов физиологической деятельности организма — стероидным гормонам. По физиологическому воздействию на организм они сильно различаются, хотя основной углеродный скелет у них одинаков. Известные в настоящее время синтетические антигормональные лечебные препараты (т. е. антагонисты половых гормонов), применяемые при эндокринных расстройст-

<sup>2</sup> Science, 1980, № 209, p. 1336.

<sup>3</sup> См.: Пересмотрены функции интронов в генах.— Природа, 1981, № 6, с. 111.

вах, как правило, являются производными стероидных гормонов и поэтому частично сохраняют нежелательную гормональную активность. В то же время природные и синтетические вещества негормональной природы, проявляющие антигормональную активность, единичны. В связи с этим ведется поиск новых химических веществ, отличающихся по химической структуре от естественных стероидных гормонов и обладающих антигормональной активностью.

А. В. Третьяков (Научно-исследовательский институт онкологии им. Н. Н. Петрова, Ленинград) в опытах на самцах и самках мышей и крыс обнаружил у гидразида<sup>1</sup> двух карбоновых кислот (п-аминобензойной и изомасляной) селективную антигормональную активность.

Селективность биологического действия исследованных препаратов заключалась в том, что первый гидразид подавлял действие женских половых гормонов, а второй — мужских.

Антиэстрогенное действие гидразида I проявилось в заметном снижении веса рогов матки (на 30—40%) у неполовозрелых самок, а также у половозрелых самок мышей, у которых за 10 дней до инъекции препарата были удалены яичники. Антиандрогенное действие гидразида II сказалось в существенном уменьшении веса семенных пузырьков (на 50—70%) у самок мышей после инъекции им этого препарата. Кроме того, оба гидразида отчетливо влияли на плодовитость самок крыс. Так, инъекция гидразида I самкам подавляла их плодовитость: по сравнению с контролем в опытной группе было значительно меньше беременных самок и ниже среднее число плодов в расчете на одну самку. Инъекция гидразида II самцам крыс тоже приводила к уменьшению и числа беременных самок, и количества плодов в расчете на одну самку.

Сравнительное исследование действия обоих гидрази-

дов и половых гормонов на активность микросомных ферментов, на включение <sup>3</sup>H-аланина в белки микросом, на фракционный состав РНК и др. свидетельствует о сходстве действия гидразида I (антиэстрогенного препарата) с эффектом андрогена, а гидразида II (антиандрогенного препарата) — с эффектом эстрогена. По мнению автора, антиэстрогенное действие гидразида I или антиандрогенное действие гидразида II обусловлено их конкуренцией за рецепторы, связывающие половые гормоны.

Доклады АН СССР, 1981, т. 261, № 1, с. 247—251.

Медицина

## Механизм образования метастазов

Первичная раковая опухоль, локализованная в каком-либо органе, может через некоторое время дать множество вторичных опухолей в других органах — так называемые метастазы. Механизм их возникновения до сих пор не вполне ясен.

Сравнительно недавно было установлено, что не все клетки первичной опухоли обладают одинаковой способностью вызывать метастазы. Дж. Финдлер и М. Крипке (Фредерик-центр по изучению рака, США) исследовали первичную опухоль мышей — меланому В-16, из клеток которой была приготовлена суспензия. Часть клеток, содержащихся в суспензии, ввели мышам линии С57BL/6 — по 50 тыс. клеток внутривенно каждому животному. Через некоторое время в легких у мышей развились метастазы, число которых было различно для разных животных. Из 17 клеток второй части суспензии были выращены клоны (популяции генетически одинаковых клеток, полученных от одной клетки — прародительницы). Затем 10 здоровым мышам было введено по 50 тыс. клеток каждого клона. Оказалось, что каждый клон вызывал разные количества

метастазов в легких животных. После этого исследователи клонировали клетки из вторичных опухолей — метастазов и также ввели их мышам. Подсчет появившихся метастазов показал, что их количество в каждой группе животных было примерно одинаковым. Отсюда был сделан вывод, что способность клеток первичной опухоли давать метастазы различна, а у клеток вторичной опухоли эта способность одинакова. В дальнейшем этот вывод был подтвержден на других животных и других видах опухолей.

В последние годы способность вызывать вторичные опухоли стали связывать со свойствами клеточных мембран и, в частности, с присутствием на поверхности клеток молекул полисахаридов. Р. Кербель (Университет Кингстона, Онтарио, Канада) культивировал клетки опухоли мыши, способные давать множественные метастазы, и подвергал их действию возрастающих доз агглютинина — вещества группы лектинов, полученного из ростков пшеницы и токсичного для некоторых видов раковых клеток. Клетки опухоли, препятствующие действию этого вещества, были отобраны и введены мышам. Оказалось, что частота возникновения метастазов в легких, вызываемая клетками, обработанными агглютинином, была на 50% меньше, чем у клеток, не подвергшихся действию этого препарата. Кербель установил, что клетки с нарушенной метастазирующей способностью имеют измененный метаболизм L-фруктозы — сахара, расположенного на поверхности клеточной мембраны.

Cancer Research, 1981, № 41, p. 98 (США).

Микробиология

## Нитрогеназа у свободноживущих клубеньковых бактерий люпина

Со времени получения в 1888 г. немецким микробиологом М. Бейеринком культуры

<sup>1</sup> Гидразида — это производные карбоновых кислот (RСООН), у которых гидроксильная группа заменена на NH<sub>2</sub>NH-группу — гидразино-вый остаток.

свободноживущих клубеньковых бактерий вопрос о способности их к фиксации молекулярного азота вне симбиоза с растениями служит предметом научного спора.

Недавно сотрудникам Института физиологии растений АН УССР Е. П. Старченкову, С. М. Маличенко и Е. Д. Круговой удалось выделить из суспензии культивируемых свободноживущих клубеньковых бактерий люпина (*Rhizobium lupini*) белки нитрогеназного комплекса, участвующего в фиксации молекулярного азота.

По молекулярной массе, константе седиментации и содержанию негеминного железа белки нитрогеназного комплекса из культивируемых клеток *R. lupini* оказались близки к белкам нитрогеназного комплекса из бактериоидов<sup>1</sup> люпина. Другим подтверждением синтеза белков, аналогичных белкам нитрогеназы, в указанных культивируемых клетках служат данные электрофоретического анализа белков, содержащих негеминное железо.

Нитрогеназный комплекс, выделенный из культивируемых клеток *R. lupini*, был активным в тех же условиях, что и нитрогеназный комплекс из бактериоидов, хотя у первого каталитическая активность была значительно ниже, чем у последнего.

Таким образом, полученные данные могут служить доказательством несостоятельности предположения, что нитрогеназа в бактериоидах образуется в результате взаимодействия генов обоих партнеров по симбиозу — бактерии и высшего растения. В действительности нитрогеназа в ходе превращения клубеньковых бактерий в бактериоиды не возникает заново, как это утверждалось ранее, а только усиливает свою активность под влиянием создающихся в клубеньках оптимальных условий.

Доклады АН СССР, 1981, т. 259, № 4, с. 993—996.

## Биохимия

### Идентифицированы новые соединения в составе прополиса

Вырабатываемый пчелами прополис — сложное по химическому составу вещество. Его основные компоненты — это смолы и бальзамы (55%), эфирные масла (10%), пыльца (5%), которые пчелы собирают с почек, коры и цветков различных растений, а также секретируемые самими пчелами воски (30%). Несмотря на широкую известность прополиса и его применение в медицине как препарата, обладающего антимикробным, анестезирующим, противовоспалительным действием, а также стимулирующего общую иммунологическую реактивность организма, химический состав прополиса изучен еще неполностью.

Недавно сотрудники Института биохимии АН УССР и Одесского сельскохозяйственного института Ю. Д. Холодова, В. П. Кардаков, В. П. Вендт, В. О. Воловенко и Т. Ф. Скачкова обнаружили в составе терпеновой фракции прополиса ранее не идентифицированные тритерпены (неомыляемые липиды): сквален и ланостерин, а также холестерин — промежуточное соединение на пути биосинтеза тритерпенов.

Авторы предполагают, что вновь идентифицированные соединения ответственны за анестезирующие свойства прополиса.

В ходе исследования было определено количественное содержание сквалена, ланостерина и холестерина в различных образцах прополиса, пчелиного воска, а также в почках тополя и березы (предполагаемых источниках этих веществ). Суммарное содержание названных компонентов в прополисе составляло до 0,30—0,35%. Все три соединения обнаружены в составе пчелиного воска и в почках исследовавшихся деревьев, причем в почках тритерпенов содержится больше, чем в воске.

Результаты количествен-

ного анализа подтверждают, что прополис образуется при добавлении к воску смолистых веществ, собираемых пчелами с почек таких растений, как тополь и береза.

Доклады АН УССР, серия Б (геологические, химические и биологические науки), 1981, № 5, с. 91—93.

## Биология

### Естественный отбор идет интенсивно

Живущие на о-вах Галапагос выюрки уже немало послужили науке: сперва они предоставили Ч. Дарвину богатый материал, позволивший проследить изменчивость видов в зависимости от условий обитания; затем, уже в наше время, они продемонстрировали исследователям свою способность пользоваться примитивными орудиями (держа в клюве прутик или колючку, они выковыривают из расщелин в стволе съедобных насекомых). А недавно новые интересные наблюдения над дарвиновскими выюрками сделали зоологи П. Боар (Трентский университет, Питерборо, Канада) и П. Грант (Мичиганский университет, США).

В течение трех лет, начиная с 1975 г., исследователи окольцевали 1500 выюрков, проводя при этом измерения семи их морфологических характеристик. В 1977 г. на Галапагосах разразилась жестокая засуха (за весь сезон дождей выпало всего 24 мм осадков против 127 мм в предыдущий и 137 мм в последующий годы). От бескормицы погибло около 85% всей популяции выюрков. Однако смертность среди них проявилась вполне определенным образом: из 388 птенцов, окольцованных в 1976 г., засуху пережил лишь один; все пережившие засуху и окольцованные позже птицы были крупнее, чем погибшие.

При тех метеорологических условиях семена растений, составляющих главную пищу выюрков, отличались твердой скорлупой, оказавшейся не по силам птицам, у кого клюв по-

<sup>1</sup> Бактериоиды — измененные формы клубеньковых бактерий *Rhizobium*, находящиеся в клетках клубеньков соответствующего вида растения-хозяина.

меньше. Чем крупнее клюв у птицы, тем больше у нее было шансов пережить засушливый год.

Генетики считают, что отличия в размерах тела и клюва у птиц примерно на три четверти обусловлены наследственностью. Таким образом, один только засушливый год в значительной мере подтолкнул всю популяцию дарвиновских вьюрков к резкому изменению размера клюва.

Science, 1981, v. 214, № 4516, p. 82—84 (США).

### Биология

## Кремний повышает устойчивость растений к вредителям

Известно, что растения из семейства злаковых, многие из которых относятся к ценным сельскохозяйственным культурам, могут накапливать в листьях и стеблях большое количество кремния. Это имеет для них не только важное морфологическое значение (способствует, например, усилению жесткости листьев и стеблей или уменьшению потери ими воды за счет испарения); способность накапливать кремний делает эти растения более устойчивыми к поражению различными паразитами и вредителями. Так, установлена прямая зависимость между накоплением кремния и повышением устойчивости к заражению грибом *Ryricularia oryzae* (вызывающим заболевание — пирикулярриоз риса), к поражению вредными насекомыми — огнёвкой (*Chilo suppressalis*) и листовёрткой (*Chaphalocrocis flinalis*); отмечалась также меньшая степень повреждения моллюсками — слизнями, обгрызающими листья.

Недавно английские исследователи У. Уэдхэм и Д. Уин Перри (Университет Северного Уэльса в Бангоре) провели эксперименты, в которых изучалось поведение слизней *Agriolimax reticulatus*, питавшихся на листьях риса с различным содержанием кремния.

Предварительно голодавшим слизням для еды предлагали кусочки из аналогичных зон

листьев риса, взятых от растений, которые были выращены на растворах с минеральными солями без добавления кремния и с добавлением его (100 мг/л растворенного  $\text{SiO}_2$ ). В одних случаях давали кусочки листьев только одного из вариантов растений, в других — смесь кусочков листьев от растений двух вариантов, но в разных соотношениях.

У растений риса, выращенных на смеси с высоким содержанием кремния, отмечалось повышение общей жесткости листьев, образование на их поверхности складок, увеличение числа крупных клеток и тонких выростов — волосков, представляющих собой места аккумуляции кремния.

В ходе экспериментов во всех случаях слизни предпочитали питаться листьями с низким содержанием кремния.

Эти данные подтверждают представление о защитной роли соединений кремния у растений.

Annals of Botany, 1981, v. 48, № 3, p. 399—402 (Великобритания).

### Зоология

## Муравей становится солдатом

У многих видов муравьев охрана гнезда возложена на касту солдат. Их крупная голова с мощными челюстями и особый характер поведения сразу отличает их от рабочих муравьев, которые строят муравейник, собирают пищу и выхаживают молодь.

Энтомологам известно, что судьба каждой особи в муравьином сообществе определяется на конечном этапе ее личиночного существования: рабочие муравьи превращаются в куколку, когда личинка достигает в длину 1,3 мм; личинка же, которой предстоит стать солдатом, растет еще шесть суток, пока не достигнет длины 1,8 мм. Механизм этих различий в метаморфозе муравьиных каст до сих пор оставался не до конца ясным. Недавно Д. Уилер и Х. Ниджхут (Дьюкский университет в Дереме, штат Северная Каролина, США) установили, что

главную роль здесь играет ювенильный гормон. (Ранее была известна подобная же функция этого гормона в эмбриональном развитии муравьев, предопределяющая дифференциацию между маткой и рабочими муравьями.)

Исследователи обрабатывали аналогом ювенильного гормона (метопреном) муравьиные личинки различного размера. Оказалось, что его применение может увеличить процент вылупляющихся солдат в общей популяции: от менее 10%, как это бывает обычно, до более 50%, чего в природе не случается. Обнаружено также, что личинки подвержены влиянию ювенильного гормона лишь в определенное время — когда их размеры находятся в пределах от 0,9 до 1,2 мм в длину. На других этапах метаморфоза обработка гормоном заметных изменений не вызывает.

«Искусственно» сформировавшиеся — под влиянием добавочной дозы ювенильного гормона — солдаты ничем от появляющихся естественным путем не отличались.

Science, 1981, v. 213, № 4505, p. 81—83 (США).



### Зоология

## У большой панды — детеныш

В Чапультепекском зоопарке в Мехико у семилетней большой панды<sup>1</sup> по кличке Инг-Инг родился детеныш. Это всего лишь второй случай появления на свет большой панды где-либо, помимо ее родины Китая. Причем первый случай, годом раньше, окончился трагически: мать новорожденной самочки — та же самая Инг-Инг — случайно задавила малышку, когда той было всего восемь дней.

<sup>1</sup> Большая панда, или бамбуковый медведь (*Ailuropus melanoleuca*), относится к семейству енотов. Обитает в горных лесах Китая. Питается главным образом молодыми побегами бамбука. — Прим. ред.

Вторая беременность длилась 126 дней, роды — полчаса. На этот раз мать относится к детенышу с осторожностью; она держит его у своей груди и начинает кормить, как только он запищит.

Сотрудники зоопарка принимают все меры, чтобы ничто не беспокоило животных. Наблюдение за ними ведется только с помощью телекамеры. Мать весит около 70 кг, новорожденный — по визуальной оценке — около 100 г при длине тела примерно 25 см. По-видимому, он родился менее крупным, чем погибшая самочка, поэтому зоологи предполагают, что это самец, однако окончательный вывод отложен до того времени, когда новорожденному исполнится по крайней мере полгода.

Большая панда включена в список редких животных, и даже на территории КНР, где раньше она была обычной, ныне встречается нечасто. Это увеличивает интерес к попыткам получить от нее потомство в неволе.

Science News, 1981, v. 120, № 5, p. 69 (США).

#### Палеонтология

### Энантиорнитиды — новый подкласс птиц

Английский палеонтолог К. Уолкер изучал костные остатки, обнаруженные аргентинским археологом Х. Бонапарте при раскопках в Эль-Брете (Северо-Западная Аргентина). Около 60 из них принадлежат, считает Уолкер, не описанному до сих пор подклассу птиц, названному им энантиорнитидами (Enantiornithes). (По одной из существующих точек зрения на таксономию птиц, они делятся на 3 подкласса: новых — неорнитид; относящихся к эпохе мела зубатых птиц — одонтоорнитид; самых древних, эпохи юры, — археорнитид.)

Костные остатки в Эль-Брете найдены в отложениях верхнего мела. Они определены принадлежат различным видам, возможно даже, различным более крупным таксонам.

Тем не менее всех их объединяет одна особенность — необычное строение плечевого пояса, настолько необычное, что, по мнению исследователя, требуется выделить их в особый подкласс.

Энантиорнитиды были исключительно больших размеров: размах крыльев достигал у них 1 м. Строение грудины свидетельствует о том, что эти птицы плохо летали.

Nature, 1981, v. 292, № 5818, p. 51 (Великобритания).



#### Экология

### Токсичность диоксинов

Очередной том публикаций Объединенного комитета по оценке критериев качества окружающей среды Канадского совета по исследованиям посвящен первым результатам изучения диоксинов, привлечшим особо пристальное внимание экологов после аварии 1976 г. на химическом заводе в Севезо (Италия). Выброшенное при аварии облако содержало около 700 г диоксинов, вызвавшего массовое отравление животных и людей на площади 2 тыс. га. Концентрация диоксинов в зараженном районе колебалась от 0,1 до 10 мкг на 1 кг поверхностного слоя почвы.

Термином «диоксины» обозначают целое семейство из 75 сходных по химическому составу и структуре молекул веществ с полным названием «многохлористые дибензо-парадиоксины». Молекула любого диоксинов состоит из двух сцепленных между собой двумя атомами кислорода бензольных колец, в которых отдельные атомы водорода замещены атомами хлора. Молекулы различаются количеством и порядком расположения этих атомов. По количеству атомов хлора все диоксины делятся на несколько гомологических рядов.

Диоксины находят применение в целлюлознобумажной, деревообрабатывающей промышленности (консерванты), в сельском хозяйстве (гербициды и пестициды); они выделяются при сжигании различ-

ных органических веществ (в том числе пластмасс и ископаемого горючего), содержатся в табачном дыме; диоксины входят в состав дефолиантов<sup>1</sup>, применявшихся американцами во время войны во Вьетнаме для массового уничтожения растительности. По оценке канадских специалистов, в стране ежегодно выбрасывается в окружающую среду до 1,5 т диоксинов, и в настоящее время они повсеместно встречаются во всей Северной Америке.

В организм животных и человека диоксины обычно попадают с пищей, водой и при работе с ядохимикатами, красками и изделиями из дерева, обработанными консервантами. В августе 1981 г. в связи с высоким содержанием диоксинов в рыбе из оз. Онтарио и рек прилегающего водного бассейна отдел здравоохранения штата Нью-Йорк (США) рекомендовал населению воздержаться от употребления ее в пищу.

Поскольку детальное исследование вредного воздействия диоксинов на живые организмы только началось, имеющиеся сведения отрывочны и носят качественный характер; точный механизм токсического действия пока неизвестен. Степень токсичности диоксинов варьирует в широких пределах в зависимости от химической формулы. Признано, что самым высокотоксичным является (2, 3, 7, 8) — тетрахлордибензо-пара-диоксин<sup>2</sup>.

Большая часть попавшего в организм диоксинов концентрируется в печени, нарушая ее нормальное функционирование и способствуя развитию рака. Средняя концентрация диоксинов в организме канадца равна в настоящее время (1—5) · 10<sup>-12</sup> г на 1 кг веса; концентрация, вызывающая заметное отравление, составляет 10<sup>-9</sup> г на 1 кг веса.

Токсическое действие носит стойкий характер: признаки отравления у людей наблюдались в течение почти трех

<sup>1</sup> Дефолианты (от «де» ... и лат. folium — лист) — химические препараты для удаления листьев с растений.

<sup>2</sup> Цифры указывают положение атомов хлора.

лет с момента попадания вещества в организм. Общий характер отравления выражается в нарушении обмена веществ с симптомами, похожими на признаки нехватки в организме витамина А; наблюдается потеря веса при нормальном аппетите, расстройство периферической нервной системы и зрения, нарушение координации работы мускулатуры, общий упадок сил, апатия, усиление волосистости на теле, затруднение в умственной деятельности. Птицы, получавшие ежедневно 5 мкг диоксида, теряли в весе, переставали усваивать пищу и гибли через 10—12 дней. Доказано, что диоксины отрицательно влияют на органы размножения.

National Research Council Canada, Publications, 1981, № 18574 (Канада).

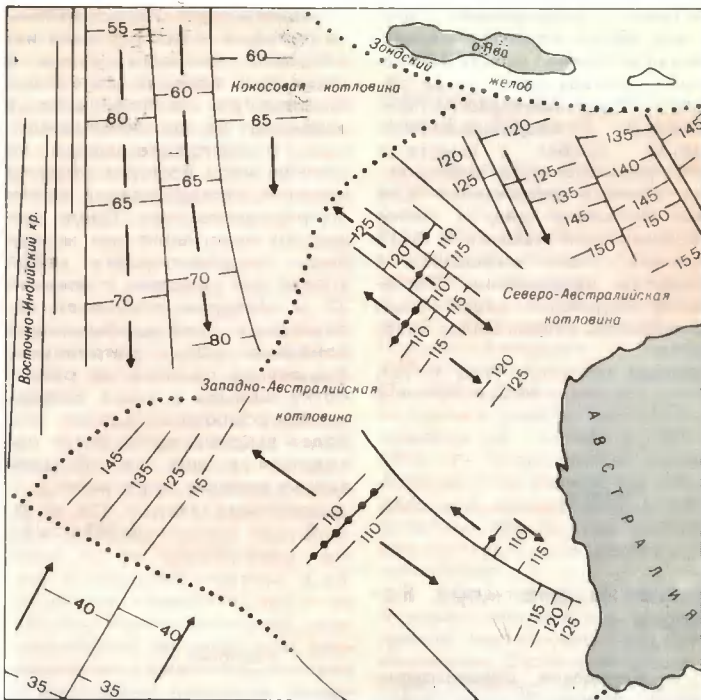
Геофизика

**Древняя ось расширения дна в Индийском океане**








Геомагнитные исследования, а также глубоководное бурение с судна «Гломар Челленджер» показали, что в истории развития Индийского океана отчетливо выделяются три периода.

А. Е. Сузюмов и С. В. Лукьянов (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР), участвовавшие в геолого-геофизической экспедиции в Индийский океан на судне «Дмитрий Менделеев» (25-й рейс, 1980 г.), на основании полученных в этой экспедиции геомагнитных данных, а также литературных материалов проанализировали этапы геологической эволюции восточной части океана.

Первый, наиболее древний, мезозойский этап начался около 155 млн лет назад (см. рис). Он связан с распадом древнего материка Гондвана. Сначала образовалась глубоководная Северо-Австралийская котловина с океанической корой; несколько позднее (около 125 млн лет назад) стали формироваться океанические котловины к западу от Австралии, среди них — крупная Запад-



Этапы эволюции восточной части Индийского океана.

-  Средне-позднекайнозойский
-  Поздне меловой — раннекайнозойский
-  Позднеюрский — ранне меловой
-  Направления расширения дна
-  Древняя ось расширения дна
-  Возраст дна в млн лет (по линейным магнитным аномалиям) и трансформные разломы
-  Границы трех областей, соответствующих трем этапам расширения Индийского океана

но-Австралийская и несколько более мелких котловин. В это время, вплоть до середины мелового периода (примерно 90—100 млн лет назад) происходило расширение дна в субширотном направлении, однако было ли оно специфическим, односторонним, или же симметричным, как в современных

океанах, оставалось неясным: древняя ось расширения дна и лежащие к западу от нее магнитные аномалии в Западно-Австралийской котловине обнаружены не были. Полученные в 25-м рейсе «Дмитрия Менделеева» геомагнитные данные, в сопоставлении с другими материалами, позволили авторам выделить в восточной части Индийского океана древнюю ось расширения дна, а к западу от нее — систему более древних аномалий. Вместе с восточной ветвью аномалий они воссоздают картину симметричного расширения дна, т. е. такого же, как и в современных океанах.

В середине мелового периода (88—47 млн лет назад) произошла резкая перестройка системы спрединга: новые котловины — Кокосовая и ряд других — стали расширяться в меридиональном направлении. Однако соответствующая им ось расширения сейчас на дне Индийского океана не видна: она угасла и впоследствии поглотилась в Зондском глубоководном желобе.

Около 54 млн лет назад произошла новая перестройка

системы расширения дна. В это время возникла океаническая котловина между Австралией и Антарктидой, начал образовываться Австрало-Антарктический срединно-океанический хребет, а вместе с ним формироваться современная система расширения дна. Все котловины дна, а также Австралийский материк с этого времени стали смещаться в северном направлении. Постепенно Индийский океан начал приобретать современные очертания.

Доклады АН СССР, 1982, т. 263, № 2, с. 409—412

#### Геология

### Пинго на дне моря Бофорта

Канадское океанографическое судно «Хадсон» летом 1981 г., осуществляя пятый рейс в Северном Ледовитом океане, проводило работы по составлению батиметрической карты крайне слабо изученного дна моря Бофорта. Сотрудники Гидрографической службы Канады за время плавания произвели съемку рельефа дна вдоль полосы, используемой для судоходства. Ширина этого судоходного коридора, проходящего с запада на восток на расстоянии около 60 морских миль от побережья, около 10 миль.

Сейсмическое профилирование дна велось на протяжении 80 миль с интервалами около 100 м. В результате было обнаружено, что поверхность дна здесь осложнена небольшими холмами, внутри которых находится ядро из льда. Эти структуры, называемые «пинго», были открыты здесь лишь в 1969 г., когда на один из таких холмов натолкнулся ледокол, сопровождавший танкер с нефтью. До этого море Бофорта считалось равнинным бассейном, лишённым существенных перепадов высот. За три месяца плавания «Хадсона» зафиксировано 25 пинго (о существовании 20 из них ранее не было известно). Анализ воды, содер-

жащейся в порах слагающих пинго пород, а также изучение ископаемых микроорганизмов в осадочных породах позволяют предполагать не подводное, а наземное их происхождение<sup>1</sup>.

В настоящее время на шельфе моря Бофорта открыты крупные месторождения нефти и природного газа. Среди известных ныне пинго нет ни одного, представляющего собой угрозу для танкеров с осадкой 20 м, которые планирует использовать нефтедобывающая компания «Дом петролеум», владеющая правами на разработку шельфа в море Бофорта. Не исключено, однако, что более высокие пинго могут находиться в еще не обследованных районах этого моря.

Science News, 1981, v. 120, № 23, p. 357 (США).

#### Геология

### Возраст и происхождение базальтов Юго-Восточной Азии

В Юго-Восточной Азии (Вьетнаме, Кампучии, Таиланде, Южном Китае) в кайнозойское время был широко распространен базальтовый вулканизм. С. Барр и А. Макдональд (Университет Акадия, Канада) на основе полевых и лабораторных исследований, а также обобщения литературных данных приводят первое региональное описание этой своеобразной вулканической провинции. При этом основное вни-

мание они обращают на возраст и геохимические характеристики базальтов, поскольку с этими породами связан ряд месторождений ценных полезных ископаемых, в том числе месторождения циркона и корунда (включая его драгоценные разновидности — сапфиры и рубины).

Базальты этой вулканической провинции очень разнообразны по составу. Среди них известны как толеитовые, так и высокощелочные породы. В виде включений встречаются шпинелевые лердолиты — по-видимому, отторженные пород верхней мантии или, по крайней мере, нижних горизонтов континентальной коры. Многочисленные определения возраста базальтов калий-аргоновым методом показали, что в Юго-Восточной Азии вулканическая деятельность началась около 12 млн лет назад; 3,5 млн лет назад она усилилась; извержения вулканов продолжают и в настоящее время.

Анализ геологических материалов привел авторов к выводу, что базальтовый вулканизм развивался стадийно: наиболее ранними были извержения толеитовых базальтов (из сравнительно неглубоких очагов), а последующие извержения становились все более щелочными, глубинными. Однако подъем магмы происходил быстро, породы не успевали в достаточной мере раскристаллизоваться. Наличие же таких минералов, как корунд и циркон, говорит о том, что базальтовые расплавы прошли фазу высоких давлений.

С чем связана позднекайнозойская вулканическая активность в Юго-Восточной Азии? Вулканические породы этих районов отличаются разнообразием своего состава от однородных плато-базальтов, характерных для платформенных областей континентов. По своим геохимическим характеристикам и геологической позиции они ближе, считают авторы, к вулканическим провинциям Восточной Австралии и Запада США, т. е. к районам с раздробленной земной корой. Для кайнозойского этапа геологического развития Юго-Восточной Азии также характерна раздробленность коры: здесь в это время

<sup>1</sup> Пинго — бугры пучения высотой 10—25 м., образующиеся в зоне многолетней мерзлоты. Вероятнее всего в данном районе они возникли в эпоху поздневалдайско-го оледенения, когда участки шельфа осушались в результате регрессии океана (90—100 м) и сюда распространялась многолетняя мерзлота. В эпоху трансгрессии, начавшейся около 10 тыс. лет назад, пинго могли сохраниться в условиях низкотемпературных вод. — Прим. ред.



шло формирование блоковых структур — поднятых плато и глубоко погруженных, заполненных осадочными толщами впадин. Этими процессами и был вызван базальтовый вулканизм. Тектонические движения, проявившиеся на суше, авторы связывают с такими крупными событиями геологической истории региона, как образование Андаманского и Южно-Китайского морей.

Geological Society of America Bulletin, 1981, Part II, v. 92, № 8, p. 1069—1172 (США).

### Геофизика

## Тепловая аэро съемка

А. И. Петров и Б. В. Шиллов (Научно-производственное объединение «Аэрогеология» Министерства геологии СССР) исследовали возможность практического применения в структурной геологии аэрофотосъемки местности в инфракрасных лучах (ИК-съемки). Для анализа были взяты материалы, полученные в аридной зоне, т. е. в районах с относительно хорошей обнаженностью и небольшой мощностью рыхлых отложений (Центральный Казахстан, Северное Прибалхашье).

В отличие от обычной аэрофотосъемки, тепловая съемка может успешно применяться при картировании геологических объектов, неразличимых по спектральным характеристикам (однотонных), но заметно отличающихся по теплофизическим свойствам. К последним в основном относятся объекты, имеющие повышенную, по сравнению с окружающими породами, влажность благодаря циркуляции в них грунтовых вод — это разломы, зоны трещиноватости пород и т. д.

И на дневных, и — особенно контрастно — на ночных ИК-снимках разрывные нарушения выделяются в виде линий и зон различной тоновой контрастности или границ резкой смены фототона и рисунка изображения. Особенности морфологии разломов часто выделяются на тепловых снимках более отчетливо, чем на аэрофото-

снимках. Это обусловлено тем, что породы, заполняющие разломы, отличаются по физическим свойствам от окружающих, в частности по величине их тепловой инерции (способности поглощать и отдавать тепло) и альбедо.

Водонасыщенные разломы и зоны трещиноватости выглядят на ИК-снимках холодными, что в условиях низкой влажности воздуха связано с практически круглосуточным испарением воды и, следовательно, охлаждением соответствующих участков земной поверхности.

В Центральной Казахстане хорошо выделяются такие формы тектонических нарушений, как взбросы, сдвиги, надвиги и т. п. Сдвиги на ИК-снимках характеризуются чередованием по их простиранию теплых и холодных участков, а направление смещения, как и на обычных аэрофотоснимках, устанавливается по известным особенностям сочетания главных и опережающих разломов, складкам волочения и т. д.

С помощью ИК-съемки могут быть идентифицированы различные комплексы пород. В частности, осадочные хорошо отличаются от магматических, а среди последних (при наличии материалов наземной геологической съемки) удается отличить породы основного состава от кислых.

Крупные региональные тепловые аномалии связаны с зонами интенсивного сжатия и деформаций, такими как осевая зона Северо-Балхашского антиклинория. Формирование подобных аномалий вызвано, по-видимому, перераспределением кондуктивного теплопереноса в слое годовых температур (т. е. в верхнем слое коры, в котором наблюдаются сезонные изменения температуры; ниже этого слоя температура изменяется в соответствии с геотермическим градиентом). Последнее обстоятельство увеличивает глубину тепловой съемки до нескольких метров.

Комплексное использование ИК- и аэрофотосъемки повышает продуктивность геологосъемочных работ.

Советская геология, 1981, № 12, с. 107—116.

### История науки

## Нашлись две записные книжки Дарвина

В декабре 1980 г. в одном из шкафов Гербария Кембриджского университета ассистент Рита Лонз случайно нашла две считавшиеся окончательно утерянными записные книжки Ч. Дарвина. Одна из них озаглавлена: «Растения Ч. Дарвина из Южной Америки», другая: «Южноамериканские растения Дарвина». Дарвин вел эти записки во время своего знаменитого плавания на «Бигле» в 1831—1836 гг. Отсутствие в архиве Дарвина этих книжек не позволяло дать верную оценку ботаническим результатам экспедиции «Бигля» и определить многие находки.

О найденных записных книжках упоминалось в незаданной, неоцененной рукописи наставника Дарвина — профессора ботаники в Кембридже Дж. Генслоу, который в свое время пользовался ими, когда определял растения, собранные Дарвином в экспедиции. Но Генслоу порекомендовал эту работу Дж. Гукеру и передал ему в 1840-е годы записные книжки Дарвина. Гукер продолжал работу Генслоу в ботаническом саду Кью, близ Лондона и, видимо, вернул затем эти книжки в Кембридж. Однако с той поры ни в Кью, ни в Кембридже никто их не видел.

Ко второй записной книжке присоединено 11 страниц записей с надписью «Растения». Записи сделаны рукой С. Ковингтона, который со времен экспедиции «Бигля» и до 1839 г. был служителем Дарвина. В записях Ковингтона сделаны поправки и дописки рукой Дарвина и частично Генслоу. Извлечения из записок стали основополагающими в позднейших выводах Дарвина, изложенных в его научном отчете об экспедиции на «Бигле» и использованных в его работе «Происхождение видов».

Найденные записные книжки переданы для работы систематикам. Эти документы оцениваются как важный источник дарвиноведения.

Nature, 1981, v. 291, № 5810, p. 13 (Великобритания).

## Научная книга: вчера, сегодня, завтра

**А. С. Федоров,**  
кандидат технических наук

Москва



**В. И. Васильев. ТЕХНИКА НАУЧНОГО КНИГОПЕЧАТАНИЯ.** История, состояние, перспективы. М.: Наука, 1981, 400 с.

Более пяти столетий книгопечатание служит прогрессу человечества. С момента своего появления печатная книга стала ценнейшим источником информации о всех достижениях науки и культуры.

Даже в ранних печатных книгах пропаганда передовых научных идей занимала достойное место. Выдающиеся труды Леонардо да Винчи, Коперника, Джордано Бруно, Галилея и других ученых эпохи Возрождения быстро получили широкую известность благодаря тому, что уже существовало научное книгопечатание. Научная книга явилась логическим продолжением издававшейся практиковавшейся переписки

ученых, стремившихся ознакомить коллег со своими открытиями и изобретениями, закрепить свой приоритет.

Научное книгопечатание прошло длинный и сложный путь технического развития. В рецензируемой монографии, пожалуй впервые, систематизированы и обобщены обширные литературные и архивные материалы по технике производства научной книги. Помимо изучения большого числа архивных документов, автор проанализировал более тысячи литературных источников по вопросам истории книгопечатания, книговедения, полиграфической техники.

В работе В. И. Васильева рассматривается история научного книгопечатания в нашей стране. На рубеже XVII—XVIII вв. Россия выходила на путь эффективного развития экономики, науки и культуры. Росла потребность в квалифицированных кадрах. Для их подготовки создавались учебные заведения. В январе 1703 г. началось издание первой русской печатной газеты «Ведомости». В том же году выходит в свет и первая на Руси научно-техническая книга — «Арифметика» Л. Ф. Магницкого, представляющая собою не только учебник по математике, но и подлинную энциклопедию математических знаний того времени.

Основание Петербургской академии наук обусловило начало быстрого развития научного книгопечатания в России. В регламенте Академии, утвержденном в 1725 г., записано: «Тако же установляем, да Академия имеет свою собственную типографию с такою привилегиею, да вся та, яже или ко умножению учений служащая, или к приращению, или славе Империи прислушающая быти, Академия разсудит, в печать издаются и продаются» (с. 61). Академическая типография открылась в 1727 г. Академия наук быстро становится центром издательской деятельности. В 1728 г. начинает выходить периодический сбор-

ник научно-исследовательских работ «Комментарии Академии наук». На его страницах печатаются труды отечественных ученых. В том же году Академии наук поручается издание правительственной газеты «Санкт-Петербургские ведомости». Одновременно публикуются монографии академиков, результаты научных экспедиций, учебники и учебные пособия.

За дореволюционные годы, т. е. почти за 200 лет, Академия наук выпустила более 3 тыс. наименований научных книг. Характерно, что примерно такое же количество изданий опубликовано академическим издательством «Наука» за один только 1970 г. Ныне издательство «Наука» является одним из крупнейших в стране. В 1980 г. объем его работы превысил 56,6 тыс. издательских листов. Это составляет около одной трети суммарного выпуска книг и журналов всех научно-технических издательств Госкомиздата СССР. Какой же огромный размах приобрела сейчас печатная научная информация в нашей стране!

Первая глава рецензируемой книги посвящена истории технических средств книгопечатания. Автор приводит недавно выявленные материалы об участии ряда выдающихся русских изобретателей в совершенствовании типографских процессов. Большой интерес представляют приведенные в книге документы об участии И. П. Кулибина в развитии технической базы типографии Академии наук. Назначенный в 1769 г. на должность механика Петербургской академии, И. П. Кулибин осуществлял не только ремонт типографского оборудования, но также проектирование и сооружение новых печатных станков.

Последующие семь глав книги, т. е. более трех четвертей ее объема, посвящены прогрессу издательской техники в современных условиях, а также перспективам развития отечественного книгопечатания.

Оперативная информация

широких кругов читателей об общественном и научно-техническом прогрессе приобретает сейчас первостепенное значение. В связи с этим в последние годы уделяется большое внимание совершенствованию редакционно-производственных процессов на базе новейшей техники. «Без широкого использования технических средств, представляющих собой сложную совокупность малогабаритных машин, аппаратов и приборов,— справедливо указывает автор,— сегодня уже невозможно рассматривать перспективы развития отечественного книгоиздания» (с. 83).

Переход к автоматическим процессам книгопечатания особенно актуален при создании книг по науке и технике. Такие книги, как правило, многообъемные и малотиражные, отличаются наиболее высокой трудоемкостью набора и верстки, сложностью своей структуры (например, научно-справочный аппарат таких изданий нередко и теперь требует ручного набора). На подготовку издательских оригиналов научных книг и журналов затрачивается в 2—3 раза больше времени, чем на типографские работы. В результате этого выпуск научно-технической литературы зачастую задерживается настолько, что к моменту выхода из печати книга уже теряет свою научную актуальность.

Рассматривая эволюцию наборной и печатной техники, автор устанавливает три этапа их развития. Первый, самый длительный, характеризовался ручным набором и малопроизводительными печатными машинами. Второй этап отмечался букво- и строкоотливным набором и преобладанием скоростных машин высокой и глубокой печати. Для третьего этапа характерен автоматизированный набор и офсетный способ печати, основанный на применении фото-механических методов и электронной техники в формных процессах, а также комплексная механизация и автоматизация полиграфического производства. Офсетная печать, широко применяемая в современной полиграфии, отличается высокой производительностью печатных машин и поз-

воляет осуществлять выпуск всех видов литературы, в том числе и научно-технических изданий.

Основная часть книги В. И. Васильева посвящена установлению реальных путей сокращения издательской обработки научной информации, а также выявлению основных тенденций и направлений развития и использования современных технических средств в практике научного книгопечатания. Широкое применение современных издательских технических средств выдвигает вопрос об изменениях в давно сложившейся системе «издательство — типография», в более рациональном разделении труда между ними. «В основе этих изменений лежит перенос набора или формного процесса в целом в стены издательства и ликвидации таким путем корректурного обмена» (с. 83).

Большое внимание автор уделяет развитию методов и технических средств так называемой «оперативной полиграфии», позволяющей получить печатные издания в короткие сроки. Еще совсем недавно было распространено мнение, что оперативная полиграфия пригодна лишь для публикации работ временного использования или внутриведомственного характера. Однако практика последних лет показала, что методами и средствами оперативной полиграфии можно получать печатную продукцию очень высокого качества и с меньшими затратами труда. Это особенно важно при выпуске малотиражных изданий, отличающихся сложным набором. Последние выставки полиграфической техники показали огромные успехи в создании совершенных средств оперативного книгопечатания.

Заключительная часть монографии посвящена важной для научного книгопечатания проблеме сокращения срока выпуска изданий. «В решении этой важной задачи,— указывает автор,— наибольший интерес представляет такая организация процесса книгоиздания, при которой можно управлять циклом выпуска изданий» (с. 315). Такая возможность уже теперь используется издательствами, выпускающими продукцию по репродуцируемому оригиналу-макету

(РОМ). В ряде таблиц приведено сравнение экономической эффективности (трудоемкость, себестоимость и др.) издательско-полиграфического процесса при выпуске научных изданий методом высокой печати и офсетным способом по РОМ. Суммарная длительность выпуска книги объемом 15 листов (издательский и производственный процессы) составляет при высокой печати 483 дня, при офсетном способе по РОМ — 293 дня. При офсетной печати значительно ниже расходы на графические работы и типографское производство.

В рецензируемой книге широко отражен опыт крупнейших советских и зарубежных издательств и типографий по выпуску научной книги, подробно описана полиграфическая техника, широко применяемая сейчас в типографиях, а также новинки этой техники, которые будут использоваться в ближайшее время.

Книга В. И. Васильева написана хорошим литературным языком, содержит много интересных иллюстраций — схем, рисунков и фотографий. На последних воспроизведены изображения печатной техники прошлого и современные высокопроизводительные типографские машины. Однако следует пожалеть, что на переплете и форзацах книги (а это 6 крупноформатных рисунков) изображены лишь гравюры производственных участков типографии Академии наук, относящиеся к 1870 г. Если книга посвящена не только истории, но в основном современности, целесообразно было бы на последней странице переплета и части форзацев изобразить полиграфическую технику нашего времени.

Книга рассчитана на издательских и типографских работников, а также специалистов информационных служб и студентов-полиграфистов. Однако ее с интересом прочтут все, кто интересуется прогрессом полиграфического производства. В заключение следует сказать, что эта отличная книга выпущена методом офсетной печати и сама демонстрирует возможность этого способа научного книгопечатания.

Механика

Н. В. Гуляв. Инерция. М.: Наука, 1982, 152 с., ц. 50 к.

Цель книги — популярно рассказать об одном из фундаментальных свойств материи — инерции и изложить современное воззрение на силы инерции. Книга начинается с истории изучения инерции, затем подробно обсуждаются понятия силы инерции, а также и дискуссии, которые имели место по поводу этого вопроса. Отдельная глава посвящена инерции в теории относительности. Критикуя достаточно часто встречающиеся заблуждения относительно сил инерции, автор детально разбирает их, указывая на бесплодность попыток создания так называемых инерционных устройств — осуществляющих самостоятельное перемещение, независимое от окружающей среды, преодолевая ее сопротивление». Наряду с этим в книге приведено множество примеров использования инерции в различных механизмах — инерционных двигателях, гироскопах и т. д. Особое место занимает проблема конструкции современных маховиков — накопителей энергии. В их разработке активно участвует автор книги.

Биология

П. В. Матвеев. ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ БИОЛОГИИ. Развитие фундаментальных концепций в биологии. Курс лекций. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 166 с., ц. 30 к.

Заглавие работы не только обязывает ко многому в смысле содержания, но требует и соответствующего объема. Объясить необъятную тему 10 печатными листами можно лишь одним способом — найти ори-

гинальную форму подачи материала. Автор сделал это в виде 13 лекций, посвятив каждую узловой проблеме, но, чтобы не получился наукоподобный «ридерс дайджест», взглянул на рассматриваемые проблемы с позиций современника, который, мысленно обозревая исторический ход событий, концентрирует свое внимание на главнейших из них. Кроме того, пристрастие — в лучшем смысле этого слова — автора к вкладу его соотечественников в решение главных проблем биологии придает лекциям яркость. Вот почему издание, рассказанное на студентов-биологов, может иметь успех и у более широкой аудитории.

Биология

Г. Вальтер. ОБЩАЯ ГЕОБОТАНИКА. Пер. с нем. и предисл. А. Г. Еленевского. М.: Мир, 1982, 264 с., ц. 1 р. 50 к.

В своем предисловии к книге ее автор, известный ботаник из ФРГ, чей фундаментальный труд «Растительность земного шара» недавно издан на русском языке (М.: Прогресс, 1968, т. 1; 1974, т. 2; 1975, т. 3), называет свое новое детище «карманной книгой», как бы извиняясь, что это лишь краткое введение, а отнюдь не полный обзор методов и проблем такой обширной науки. Но автор тут же оговаривается, подчеркивая оправданность «карманной книги»: «Геоботаник не может учиться по книгам; они должны лишь побуждать его к точным наблюдениям и опытам в природе». А 50-летний преподавательский стаж автора помог ему с успехом сделать то, чего он хотел. В редакционном предисловии к переводу отмечены два особых достоин-

ства книги: первое — рельефная обрисовка преемственности между прошлым и настоящим в природе; второе — синтез научности и популярности изложения. Немалую роль играет и страстная заинтересованность автора в судьбах природы, ее охране.

Все это гарантирует успех книги в более широкой аудитории, чем учебные заведения.

Биология

М. Б. Беркенблит, В. П. Божкова, Л. Ю. Бойцова, Л. А. Миттельман, Т. В. Потапова, Л. М. Чайлахян, Ю. Ю. Шаровская. ВЫСОКОПРОНИЦАЕМЫЕ КОНТАКТНЫЕ МЕМБРАНЫ. Отв. ред. Л. М. Чайлахян, М.: Наука, 1981, 388 с., ц. 4 р. 20 к.

В монографии подводятся итоги изучения высокопроницаемых контактных мембран, выполняющих роль непосредственных каналов диффузной связи между соседними клетками. Авторы дают краткий, но достаточный полный обзор всех основных вопросов, связанных с исследованиями в этой области, как на основании своих работ, так и по результатам, полученным в других лабораториях.

Первая часть посвящена, в основном, способам выявления, распространению, свойствам, ультраструктуре и механизму формирования высокопроницаемых контактных мембран. Во второй части монографии анализируется роль мембран в кооперативном поведении клеток. В заключение приводится список литературы, появившейся за весь почти 20-летний период развития данного направления в молекулярной биологии.

## Почвоведение

В. А. Ковда. ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ, ЕГО УЛУЧШЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА. М.: Наука, 1981, 181 с., ц. 1 р. 80 к.

В книге рассматриваются две противостоящие друг другу тенденции в использовании почвенных ресурсов: хищническая эксплуатация земель, вызывающая нарастание водной и ветровой эрозии, вторичного засоления, осолонцевания, подкисления почв, и противостоящая тенденция — задержать и ликвидировать эти процессы, достигнуть максимальной продуктивности земледелия, лесоводства и лугово-пастбищного хозяйства. Анализируя состояние почвенных ресурсов, автор отмечает быстро растущие и порой невозвратимые потери почвенного покрова мира (5—7 млн га ежегодно), усиливающуюся деградацию почв, снижающую их фактическую и потенциальную продуктивность. «Почва может быть эффективно улучшена и давать повышенную продукцию лишь при условии осуществления комплексного набора агротехнических, мелиоративных, биологических мероприятий, регулярно применяемого ко всем элементам агробиоценоза и географической среды», — пишет автор. В книге рассматриваются многочисленные проблемы, вытекающие из современного состояния почвенных ресурсов на фоне загрязнения природной среды, тенденций в изменении климата и аридизации земель. Большой интерес представляют таблицы, графики и карты, приведенные в тексте.

## Охрана природы

А. Г. Луктанов, ФИЛИН. Алма-Ата: Кайнар, сер. «Редкие и исчезающие животные Казахстана», 1982, 92 с., ц. 25 к.

Имя этой птицы овеяно легендами. Теперь, кажется, и ей самой грозит превратиться в легенду. Хотя она еще не занесена в «Красную книгу», но все, как говорится, к тому идет. Особенно в Казахстане.

Автор, настойчивый и терпеливый натуралист, не ограничился изучением всей доступной литературы, посвященной удивительной птице, поражающей своим «мудрым» поведением, но и попытался дополнить коллективный опыт своими личными наблюдениями. И наблюдения А. Брема, Е. П. Спангенберга, Г. И. Полякова, Я. Линдבלате, Ю. Б. Пукинского, М. А. Мензбира, П. А. Мантейфеля, т. е. «классические» наблюдения, пополнились новыми интересными страницами. К тому же автор был наделен некоторым преимуществом перед своими знаменитыми предшественниками — вооружен «фоторужьем».

Повествование автора, его мысли пронизаны заботой о будущем Филина: сможет ли этот представитель рода сов воспользоваться своей «мудростью» и приспособиться к новым условиям существования в быстро изменяющейся среде?

Книгу с интересом прочтут все: и специалисты, и просто любители природы.

## Охрана природы

Н. Ф. Реймерс, А. В. Яблоков. СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ОХРАНОЙ ПРИРОДЫ. М.: Наука, 1982, 144 с., ц. 90 к.

В наш век, когда неуклонно растет число специальных научных дисциплин и развиваются новые области знаний, специалисты нередко говорят на разных языках, пользуясь различными терминами, затрудняя взаимопонимание. Поэтому потребность в терминологических словарях велика. Договориться об употреблении и содержании различных терминов необходимо и специалистам, занятым охраной живой природы. В этой комплексной и быстроразвивающейся области участвуют не только биологи разных специальностей, но и инженеры, экономисты, архитекторы и строители, советские и партийные работники. Для многих из них биологическая терминология достаточно чужда и не всегда понятна. Н. Ф. Реймерс и А. В. Яблоков — составители

первого в нашей стране «Словаря терминов и понятий, связанных с охраной живой природы», — очевидно, во многом облегчили общение и взаимопонимание всех тех, кто причастен к этой проблеме.

Словарь содержит свыше 2400 дефиниций. Наряду с понятиями, далеко не всем известными, составители включили в свой справочник и такие простые, знакомые каждому слова, как «хищник», «особь» и т. д. Но такие определения нужны для стандартизации. Книга заканчивается «Приложением», в котором приведен список позвоночных животных, внесенных в Красную книгу СССР (1978), а также список 100 видов, требующих первоочередной охраны на Земле (1978). Хотя в эти списки и не входят рыбы, беспозвоночные и растения, но их отсутствие вполне оправдано в такой книге: многие, если не большинство из них, знакомы только специалистам, кроме того, далеко не для всех организмов приняты русские названия.

Словарь не носит нормативного характера, поскольку в такой области, как охрана живой природы, устанавливать какие бы то ни было жесткие нормы в употреблении различных терминов, вероятно, еще рано.

## Археология

МАТЕРИАЛЫ ПО АРХЕОЛОГИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА СССР. Владивосток: Изд. ДВНЦ АН СССР, 1981, 132 с., ц. 1 р. 80 к.

В сборнике (авторы: Ж. В. Андреева, И. С. Живущиховская, В. И. Дьяков, Т. В. Васильева, Л. Н. Гусева и др.) затронут широкий круг проблем, связанных с материальной и духовной культурой народов южной части Советского Дальнего Востока эпохи первобытнообщинного строя и раннего средневековья. Рассказывается о быте, особенностях одежды чжурчженей (на основе анализа фигурок духов-предков), трактуются некоторые рисунки с учетом мифологических представ-

лений этого народа. Археологи обнаружили письменные клейма чжурчжэней с их личными и родовыми именами, которыми они метили скот, имущество, металлические и керамические изделия. Это свидетельствует о широком распространении грамотности среди определенной категории ремесленников-профессионалов.

В сборнике анализируются погребальные обряды нижне-амурского населения в эпоху раннего средневековья, гончарные традиции, типы вооружения.

#### История науки

З. К. Соколовская. 300 БИОГРАФИЙ УЧЕНЫХ. Отв. ред. А. Л. Яншин. М.: Наука, 1982, 389 с., ц. 1 р. 50 к.

Это библиографический справочник, в который вошли сведения о книгах, выпускаемых с 1959 г. издательством «Наука» в серии «Научно-биографическая литература» (НБЛ)<sup>1</sup>.

О содержании первой главы (а их четыре) можно судить по названиям ее разделов: «Книги об ученых в отечественных сериях», «Биография» серии НБЛ», «Переводы книг серии НБЛ на другие языки», «Оценка книг серии НБЛ в рецензиях». В этой главе, в частности, сообщается, что 25 книг серии НБЛ переведены на иностранные языки. Выявлено 345 русских и 110 иноязычных рецензий. Из журнальных откликов наибольшее количество падает на «Природу» — 78 рецензий (в том числе одна отрицательная<sup>2</sup>) и аннотаций.

Центральное место занимает вторая глава, в которой

дается описание всех 300 вышедших книг серии с указанием переводов и рецензий. О перспективах серии на ближайшие годы говорится в главе третьей. Следующая глава представляет собою небольшой справочный словарь об авторах и редакторах серии. Книга иллюстрирована репродукциями из выпусков НБЛ.

#### История науки

СЛОВО О НАУКЕ. Афоризмы. Изречения. Литературные цитаты. Книга вторая. Сост., авт. предисл. и введ. к главам Е. С. Лихтенштейн. М.: Знание, 1981, 270 с., ц. 1 р.

В 1978 г. вышла первая книга афоризмов под названием «Слово о науке». Ее удачно продолжает и дополняет книга вторая. Она состоит из четырех глав: «Люди науки», «Наука и молодежь», «Наука сегодня и завтра», «Наука и книга». В них приводятся высказывания выдающихся ученых о себе: о тех чертах, которые характеризуют каждого истинного ученого; о тех идеалах, к которым должен стремиться каждый, кто посвятил свою жизнь науке; о моральных нормах, которым обязан следовать ученый; о лидерстве в науке; об НТР; о закономерностях развития науки; о том, чего ждет человечество от развития науки в будущем; о роли книги в истории науки и в жизни многих выдающихся ученых; о языке науки; о значении научной фантастики в научном творчестве, а также о значении научно-популярной литературы.

#### История науки

АКАДЕМИК РЕМ ВИКТОРОВИЧ ХОХЛОВ. Сб. статей М.: Знание, 1982. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Физика», № 5), 64 с., ц. 11 к.

В феврале 1980 г. по инициативе общества «Знание» в его Центральном лектории был проведен вечер, посвященный памяти Рема Викторовича Хохлова. С воспоминаниями об

этом выдающемся ученом выступили его друзья и сотрудники: профессор С. А. Ахманов и В. И. Григорьев, академик Л. В. Келдыш, доцент МГУ Г. Я. Мякишев, член-корреспондент АН СССР Д. В. Ширков и профессор Ю. М. Широков. На вечере и зародилась идея создания этой книги.

Она содержит не только рассказ о том, чем обогатил науку в области физики Р. В. Хохлов. Крупный ученый и организатор науки, он был человеком редкостного обаяния и душевной красоты. Об этом говорили все участники вечера. В конце своего выступления Ю. М. Широков, чьими воспоминаниями и заканчивается книга, сказал: «Очень редки большие таланты. Очень редки большие организаторы. Очень редки Большие люди в чисто человеческом смысле этого слова. У Рема было редчайшее сочетание этих трех качеств. Он был велик и чело-вечен во всем, что делал, в каждый момент своей напряженной и полнокровной жизни».

#### История науки

А. Ф. Лосев. ДИОГЕН ЛАЭРЦИЙ — ИСТОРИК АНТИЧНОЙ ФИЛОСОФИИ. Отв. ред. А. В. Гулыга. М.: Наука, 1981, 192 с., ц. 65 к.

Греческий писатель III в. н. э. Диоген Лаэртций получил широкую известность благодаря трактату из 10 книг о жизни, учениях и изречениях античных философов, таких как Гераклит, Демокрит, Платон, Аристотель, Эпикур, а также стоики и скептики. Сама философия в этом трактате изложена без надлежащей хронологии и строгой исторической последовательности, переполнена как будто бы не относящимися к делу отступлениями, анекдотами, острыми словами, которые, однако, погружают читателя в самую гущу античной жизни.

Диоген выявляет главное в античных мыслителях: характеризуя концепцию Гераклита, рассказывает о мировом огне и его превращении в прочие элементы; раскрывает учение Демокрита об атомах и пустоте.

<sup>1</sup> Предыдущее издание: Соколовская З. К. 200 научных биографий. М., 1976. См. рецензию: Цаверва Г. К. Научно-биографической серии — 15 лет. — Природа, 1976, № 7.

<sup>2</sup> Идлис Г. М. От «набегов внешних врагов» до «мирного созидания ученых нашей планеты» (на кн.: Сердюков А. Р. Петр Николаевич Лебедев). — Природа, 1980, № 1.

о мировом вихре атомов, из которого образуются целые миры и сложные тела; подчеркивает физический у киренаиков, диалектический метод Платона и т. д. Но особенностью его трактата являются все же интересные биографические сведения о философях древности. Так, мы узнаем, что у Аристотеля было много посуды, что он прикладывал к животу пузырь с маслом и что во время сна держал в руке медный шарик, а под нее подставлял лохань, чтобы шарик, падая в лохань, будил его своим звуком.

Автор книги показывает особенности литературной манеры Диогена Лазария (портретное искусство, стихотворные элементы, элементы теоретической мысли и историзма), критикует ненаучные подходы к оценке его творчества, дает культурно-историческую характеристику этого замечательного античного писателя.

#### История культуры

**А. Г. Глухов.** ...ЗВУЧАТ ЛИШЬ ПИСЬМЕНА. Судьбы древних библиотек. М.: Книга, 1981, 207 с., ч. 45 к.

Это очерки о древних библиотеках. В них рассказывается и о библиотеках клинописных книг Древнего Шумера, Ассирии и страны хеттов, заново прочитанных уже в наше время, и о собраниях папирусов Древнего Египта, древней Греции и Рима, и о богатейшей Александрийской библиотеке. Не забыты «дома мудрости» — собрания пергаментных книг арабов и средневековой Европы; хранилища книг, обнаруженные в засыпанном песками пустыни мертвом городе Харахото в Центральной Азии; библиотеки Древней Бирмы; знаменитое собрание книг правителя Самарканды, внука Тимура, великого ученого и мыслителя Средней Азии Улугбека; библиотеки Древней Руси; история организации в монастыре Сан-Марко первой в мире общедоступной библиотеки еще в 1441 г.

Читатель узнает о самых древних законодательных документах, которыми считаются

законы правителя Шумера Ур-Намму, жившего почти четыре тысячелетия назад; о первых автобиографиях, словарях, справочниках и о первой энциклопедии, появившейся еще в Древнем Египте около трех тысячелетий назад.

В книге не только описаны судьбы древних книгохранилищ, но и представлены их создатели, переписчики и современные ученые, расшифровавшие и прочитавшие заново старинные письмена.

В тексте книги упомянуты всевозможные источники из самых различных отраслей знания: литературы и литературоведения, истории, археологии и т. д. Это своего рода библиография, облегчающая читателю дальнейшее знакомство с темой.

#### Философия естествознания

**Б. С. Грязнов.** ЛОГИКА, РАЦИОНАЛЬНОСТЬ, ТВОРЧЕСТВО. Сост. К. В. Малиновская, Н. И. Кузнецова, Е. П. Никитин. Отв. ред. И. С. Тимофеев. М.: Наука, 1982, 256 с., ч. 1 р. 20 к.

В этой монографии собраны главные труды Б. С. Грязнова (1929—1978), известного философа и историка науки, который на протяжении всей своей творческой деятельности изучал проблему объектного содержания, онтологического статуса образов сознания. Незаурядный исследовательский талант и основательные познания в самых различных отраслях науки позволили ему постоянно расширять и углублять эту проблему.

Книга состоит из трех разделов. В первом из них — «Мир науки» — автор ставит вопрос о том, что именно является объектом научного изыскания и каковы способы его постижения, и решает этот вопрос в рамках гносеологического и логического анализа. Углубляясь в проблемы теоретического знания, автор анализирует такие методы анализа, как идеализация, абстрагирование, формализация, интерпретация посредством модели, аксиоматический метод. Во втором разделе — «Развитие науки» — подчеркивается,

что наука, являясь элементом социума и функционируя внутри него, сама обладает свойствами целостности и является саморазвивающейся системой. При этом автор исходит из принципов рациональной реконструкции в истории науки и философии, анализируя «Математические рукописи» К. Маркса, идеи Ф. Бэкона, Р. Декарта, французских просветителей. Э. Кассирера, К. Поппера. В третьем разделе — «Наука и культура» — ставится вопрос о реальных каналах и механизмах, обеспечивающих взаимодействие наук. В обществе с развитым разделением труда некоторые виды социальной деятельности преследуют, как правило, частную цель. Так, если целью шахматной игры должен быть мат, то эта цель реализуется через поведение отдельных фигур и «разделение труда» между ними. Пытаясь достигнуть своей локальной цели, отдельная фигура может «увлечься» и тем самым расстроить осуществление цели всей шахматной партии. То же самое может произойти и в функционировании социальной подсистемы, которой является каждая научная дисциплина. Поэтому изучение взаимодействия наук является не только способом объяснения, но и одним из средств реализации этой взаимосвязи.

Вписывая науку в культуру, автор разрабатывает — на анализе творчества Т. Манна — понятие видимой реальности и характеризует творчество как героизм, боль, страдание, доведение человеческих возможностей до предельного состояния.

**С. С. Неретина,**  
кандидат философских наук  
Москва

#### ПОПРАВКИ

В № 8 (1982) в статье Е. Е. Милановского «Расширяющаяся и пульсирующая Земля» в произвольном масштабе воспроизведены карты, что затрудняет их сравнение: первая уменьшена в 1,6 раза (с. 49), вторая — в 1,3 раза (с. 51) относительно третьей (с. 53).

В № 9 (1982) на с. 36 в конце второго абзаца первой колонки следует читать: «Диалектика состоит в опосредовании и преобразовании биологического социального, но не в разрыве всякой связи между ними.»

▼ В КОНЦЕ НОМЕРА

## Золото Подмосковья

**М. Н. Нехаев,**  
студент

**П. В. Флоренский,**  
кандидат геолого-минералогических наук

Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина

Каждый участок Земли интересен для геолога. Московская область в этом отношении не исключение. Здесь настолько полно представлены отложения каменноугольного периода, что многие горизонты каменноугольных отложений Международной стратиграфической шкалы названы по именам различных мест Московской и Тульской областей. Еще одна геологическая достопримечательность Подмосковья — четвертичные ледниковые отложения. Они покрывают весь север Русской равнины, протягиваются на запад вплоть до Польши и ГДР, концентрическими дугами обнимают Скандинавию, с которой и сползал ледник. На севере Московской области преобладают морены — грубообломочные отложения, принесенные ледником и содержащие гигантские валуны. Моренные отложения сохранились и непосредственно в Москве. Южная граница их распространения проходит около Теплого стана, рядом с выходом из метро «Беляево», а у поворота на Ясенево, как памятник прошлому, лежат большие валуны. К югу от этой границы распространены флювиогляциальные отложения — пески и глины, принесенные сбегавшими с ледника потоками.



Моем золоте.

В моренных отложениях можно, не сходя с места, собрать очень полную коллекцию пород,

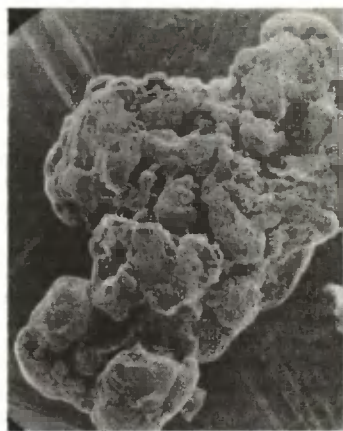
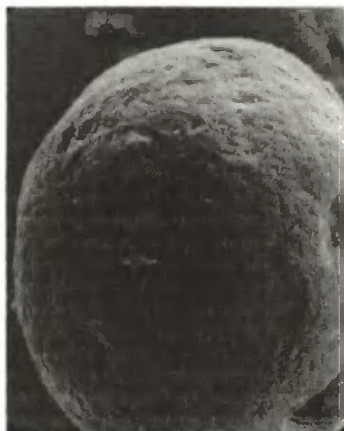
распространенных на Балтийском щите: гранитов, гнейсов, метаморфических сланцев, кварцитов, диабазов и т. д. Если же внимательно просмотреть пески из этих моренных отложений, которые сложены не



породами, а минералами, то окажется, что по неповторимому разнообразию тяжелых минералов они напоминают пески таких рудных районов, как Урал, Алтай, Забайкалье.

Сбор и изучение этих минералов и служит предметом одной из традиционных экскурсий по Подмосковью, которые студенты-геологи проводят со своими преподавателями. Цель этих экскурсий — наблюдение моренного рельефа и изучение моренных отложений. Одним из наиболее посещаемых мест стал небольшой овраг в двух километрах к западу от станции Икша, Савеловской железной дороги. Здесь ручей течет по поверхности высокой, около 1,5 м, террасы, а потом прорезает ее, образуя глубокий овраг, в котором сохранилась еще одна терраса, высотой около 6 м. В пойме ручья и отбирают пробы на шлих. Шлих (набор тяжелых минералов плотностью выше  $3 \text{ г/см}^3$ ) промывают в самодельных лотках, мисках, тазиках. Воды в ручье мало, поэтому приходится или спускаться вниз по его течению, или делать запруды. Шлих из моренных отложений промывать легко: в нем мало глины.

Итак, песок из русла ручья в лотке. Сначала вода мутная, рыжая от глины, окрашенной окислами железа. Но потом глина сходит, смываются также палочки, деревяшки — и вот вода в лотке чистая. Песок сначала имеет желтый цвет: ведь песчинки кварца, полевых шпатов, ортоклаза, кварцитов тоже окрашены окислами железа. Первыми на поверхность промываемого шлиха «вылезают» крупные гальки сланцев, кварца, кварцита. Затем смываем другие легкие минералы. Когда от шлиха остается менее десятой части, он розовеет. Теперь его цвет определяют зерна граната, достигающие 2—3 мм, нередко прозрачные и в воде очень красивые. Промываем шлих дальше, и он становится серым. В этот момент можно остановиться, так как шлих уже обогащен редкими тяжелыми минералами. Их очень интересно наблюдать в микроскоп. При большом увеличении будут видны продолговатые зерна циркона, прозрачный дис-



Частицы золота, намытые в Икшинском овраге (слева направо, сверху вниз): окатанная (увел. в 900 раз), неокатанная (увел. в 450 раз), со следами транспортировки (увел. в 3000 раз), с натечными формами на поверхности (увел. в 3000 раз).

тен, зеленоватый и лиловый турмалин, желтый монацит, ярко-зеленый эпидот, красновато-бурый ставролит, розовый гранат. Даже в ничтожном количестве такого серого шлиха содержится полная коллекция интереснейших минералов, подобно тому как в гальках морены содержится коллекция горных пород. Одни зерна окатаны, другие обломаны, на третьих выросли свежие новые грани — кристаллы регенерированы.

Попробуем, однако, промывать шлих дальше. Постепенно смываются минералы, плот-

ность которых меньше  $3—5 \text{ г/см}^3$ . Шлих чернеет, так как теперь в нем преобладают магнетит и ильменит, попавшие в песок из диабазов Карелии. Обилием магнетита черный шлих напоминает шлихи золотосных районов Восточной Сибири. Постепенно в лотке все меньше и меньше материалов. И вот на черном фоне на самом дне лотка вспыхивают желтые искорки. Это не слюда, которая при умелом промывании уходит в первую очередь. Это и не пирит — «кошачье золото», которое тоже давно смыто. Сверкающие чешуйки — золото!

С золотом связано так много легенд, так много героически-джеклондоновского, что эта находка не может не волновать. И дело тут не в надежде на обогащение и новый Клондайк. Дело совсем в другом. Один из авторов хорошо пом-

нит свои ощущения, когда он впервые увидел золото на дне своего лотка. Было это давно, автор был студентом третьего курса. В том месте никогда не было геологов, и это было если не открытие месторождения, то хотя бы зацепка к нему. Найденные крупинки стояли перед глазами всю бессонную ночь.

О присутствии незначительных количеств золота в Подмоскowie было известно еще в начале нашего века, когда в Икшинском овраге, где содержание его считается самым высоким, местный житель С. В. Пономарев начал промывку, но из-за ничтожных количеств золота это оказалось бессмысленным<sup>1</sup>.

Сейчас в этом овраге на ведро песка приходится не больше 3—5 чешуек поперечником меньше одной десятой миллиметра. За день неумелой работы мы со студентами намывали до 20 крупниц золота. Их трудно

различить даже в сильную лупу. Но как они красивы в растворе! Глубина резкости и контрастная проработка деталей делают их скульптурными. На поверхности чешуек — вся их биография, рассказывающая об истории формирования, трудностях далекой дороги и условиях залегающих под Москвой.

Среди найденных частиц присутствуют окатанные и неокатанные. Неокатанные частицы крупнее (до 0,2 мм). На их поверхности видны отпечатки окружающих пород. Эти частицы пористые, очень причудливой формы. Окатанные частицы меньше, они овальные или круглые, поэтому на них особенно заметны царапины и следы ударов при транспортировке.

Сравнение фотографий собранных нами частиц с эталонными атласами позволяет думать, что эти золотники аналогичны тем, которые встречаются в Карелии и на Кольском полуострове.

Оказалось, что подмосковное золото — высокопробное. Лишь центральная часть обломков имеет низкую пробу (870), характерную для корен-

ных залежей золота. В краевых же частях, откуда примеси легко выщелачиваются, проба золота равна 940 и даже 995. При увеличении в 10 тыс. раз хорошо видны натечные формы, образовавшиеся во время пребывания золотинок в песке. Процессы микрорастворения и микросождения золота привели к тому, что некоторые золотники целиком состоят из вторичного золота.

Золотоносность ледниковых отложений Русской равнины не новость: еще в прошлом веке в Тверской губернии на ведро песка получали до 15 крупинок золота. По некоторым подсчетам, в моренных отложениях здесь нередко содержится до нескольких десятков миллиграммов золота на тонну породы. Такие концентрации не представляют никакой промышленной ценности. Но как они интересны для минералогов-любителей! Ведь на Аляске и по сей день в давно выработанных районах устраивают соревнования любителей, приз которых — несколько микроскопических крупинок, намываемых собственными руками.

<sup>1</sup> Добров С. А. Геологический очерк Дмитровского края.— Тр. Музея Дмитровского края. Дмитров, 1932, с. 54.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

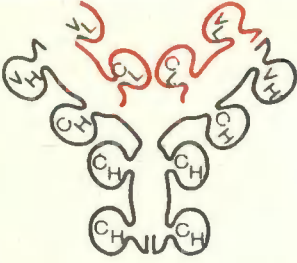
Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП—1,  
Марононский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

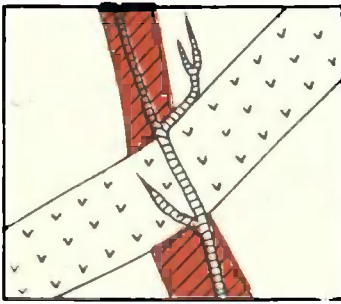
Сдано в набор 7.07.82  
Подписано к печати 1.10.82.  
Т—16148  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1636 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,7  
Бум. л. 4  
Тираж 61 100 экз. Зак. 1776

Ордена Трудового Красного  
Знамени Чеховский  
полиграфический комбинат  
ВО «Союзполиграфпром»  
Государственного комитета СССР  
по делам издательства, полиграфии  
и книжной торговли.  
г. Чехов Московской области.

## В следующем номере



Механизм, обуславливающий разнообразие иммуноглобулинов, до последнего времени был совершенно непонятен. Сейчас, наконец, дело начало проясняться.  
Сидорова Е. В. Гены иммуноглобулинов.



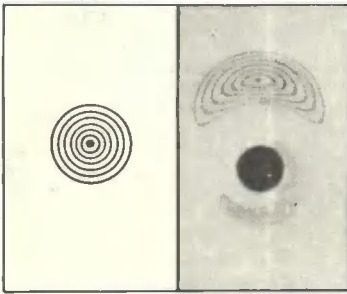
Рудное вещество эндогенных месторождений поступало из остывающих магматических очагов, из осадочных и вулканогенно-осадочных толщ, а также из верхней мантии. Относительная роль каждого из этих источников становится понятной только теперь.

Петровская Н. В., Рехарский В. И. Проблема источников рудного вещества.



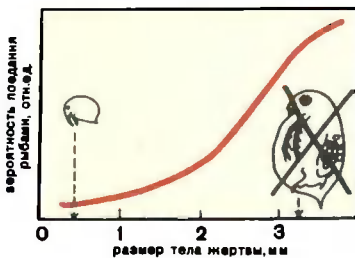
«Я никогда не созерцал природу с поэтической целью... Я ее научно изучал таким образом, чтобы точно и ясно понимать естественные явления».

Здорик Т. Б. И. В. Гете — геолог и минералог.



Астрономические наблюдения последних лет показали, что в природе существуют универсальные «телескопы-рефракторы», для которых линзами служат массивные небесные тела и даже целые галактики. Они способны фокусировать волны любой природы (электромагнитные, гравитационные), а также потоки частиц, включая нейтрино.

Блюх П. В., Минаков А. А. Гравитационные линзы.



Проблема «хищник — жертва» в последние годы особенно интересует зоологов. Изучение этих взаимоотношений в зоопланктонных сообществах позволило выявить целый ряд интересных закономерностей.

Гиляров А. М. Отношения «хищник — жертва» в зоопланктонном сообществе.

Цена 80 коп.

Индекс 70707

