

ISSN 0032-874X

# 5 ПРИРОДА

1984



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

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. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Крайне редкий вид мировой флоры — непентес (*Nepenthes madagascariensis*) — встречается в заповеднике Беренти на Мадагаскаре. См. в номере: Гогина Е. Е. Островная тропическая флора нуждается в охране.

Фото А. В. Павлова

На четвертой странице обложки. Дрейфовая камера установки ARGUS. См. в номере: Данилов М. В., Зайцев Ю. М. Спектроскопия  $\gamma$ -мезонов.

Фото ARGUS.

**В НОМЕРЕ**

<b>Сачков Ю. В.</b> Естествознание и теория познания. К 75-летию выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм»	3
<i>Непреходящее значение книги В. И. Ленина заключается как в анализе революционных изменений в развитии науки на рубеже XIX—XX веков, так и в выработке методологии философского исследования.</i>	
<b>Кузичева З. А.</b> Математика в творчестве Карла Маркса	10
<i>К. Маркс занимался математикой настолько серьезно, что, не будучи специалистом-математиком, получил собственные результаты в основаниях математического анализа — области, не имевшей для него прямого «прикладного» значения.</i>	
<b>Леонов М. Г.</b> Коралловые острова в море... и на суше	16
<i>Ученых давно занимает происхождение разбросанных по всем океанам коралловых островов и атоллов. Новый подход к проблеме расширил наши представления об особенностях их строения и эволюции и вместе с тем приблизил к пониманию важнейших закономерностей становления и развития земной коры.</i>	
<b>Данилов М. В., Зайцев Ю. М.</b> Спектроскопия $\gamma$ -мезонов	26
<i>Открытые в 1977 г. <math>\gamma</math>-частицы оказались прекрасным «полигоном» для критической проверки и развития современной теорией сильного взаимодействия.</i>	
<b>Розанов В. Б., Рухадзе А. А.</b> Мощная излучающая плазма	30
<i>Как получить мощное излучение для накачки лазеров, которые способны возбудить термоядерные реакции синтеза? Отвечая на этот вопрос, ученые создали новую область современной теоретической и экспериментальной физики плазмы.</i>	
<b>Болотников И. А., Олейник Е. К.</b> «Клетки-няньки» для лимфоцитов	42
<i>В организме животных, по-видимому, существует унифицированный способ «обучения» лимфоцитов. Место такого «обучения» — открытые недавно у птиц и млекопитающих «клетки-няньки».</i>	
<b>Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф</b> — основоположник современной эмбриологии	44
<i>Наблюдения над развитием растений и животных, начатые К. Ф. Вольфом более двух столетий назад, положили начало новому научному направлению — биологии развития.</i>	
<b>Абрамова З. А.</b> Жилище из костей мамонта на берегу Судости	52
<i>Раскопки палеолитического поселения Юдиново помогают воссоздать черты повседневной жизни древних охотников на мамонта.</i>	
<b>Денисюк Ю. Н., Гуриков В. А.</b> Развитие голографии как нового научного направления	54
<i>Прошедшие годы убедительно продемонстрировали широкие возможности и перспективы голографии как универсального метода записи и отображения явлений окружающего мира.</i>	
<b>Анисюткин Н. К.</b> Заселение Восточной Европы в палеолите	62
<i>Впервые для Русской равнины представлена значительная коллекция каменных орудий ашельской эпохи.</i>	
<b>Рустамов А. К.</b> Турач	63
<i>Птица, еще недавно бывшая промысловой, сейчас внесена в «Красную книгу СССР»</i>	

**Гогина Е. Е.** Островная тропическая флора нуждается в охране **66**

Со времен колонизации островов Индийского океана их флора обедняется, утрачивает первичное своеобразие, становится унифицированной.

**Вилебинский Р.** Радионебо **74**

Совместными усилиями радиообсерваторий Северного и Южного полушарий проведено комплексное исследование Галактики в радиодиапазоне и создана радиокарта всего неба.

**Флоренский П. В.** Живой камень памятников **85**

Гордость наших городов, сел, украшение природы — архитектурные памятники старины. Геологическое осмысление некоторых процессов, происходящих в камне древних построек, необходимо для их реставрации и охраны.

✓ **Портнов А. М.** Радиогеохимический поиск руды **99**

Радиоактивные изотопы калия и тория в горных породах легко обнаруживаются аппаратурой, установленной на борту вертолета. Анализ распределения этих изотопов позволяет надежно судить о содержании многих нерадиоактивных металлов.

## НОВОСТИ НАУКИ **106**

Четвертая гравитационная линза **[106]** • Необычный хвост кометы **[106]** • Азотный океан на Тритоне **[107]** • Исследование Земли с помощью пучка нейтрино **[107]** • Долго ли живет b-кварк? **[108]** • Фокусаторы **[108]** • Солнечные элементы повышенной эффективности **[109]** • Средство против вирусных болезней **[110]** • Компьютер расшифровывает механизм действия фермента **[110]** • Механизм образования токсинов у бактерий **[111]** • Какой палец точнее? **[111]** • Кодирование информации зависит от особенностей задачи **[111]** • Психические нарушения при болезни Паркинсона **[112]** • Новые данные о псораленах **[112]** • Вес мозга у хрящевых рыб **[113]** • Мирная акула-большерот **[113]** • Зачем антилопе рога? **[114]** • Первый ископаемый гребневик **[115]** • Рак у рыб из загрязненных водоемов США **[116]** • Перспективы существования тупиков **[116]** • Морской слон будет жить **[116]** • Что больше загрязняет море? **[117]** • Великая «оспина» Земли **[117]** • Необычно высокая геотермальная активность **[118]** • Сейсмический риск для Британских островов **[118]** • Прогноз находок алмазов **[119]** • Древнейшие тасманийцы **[119]**

## РЕЦЕНЗИИ

**Цверева Г. К.** К завершению издания сочинений М. В. Ломоносова (на кн.: М. В. Ломоносов. Полное собрание сочинений. т. XI) **120**

**Ефремов Ю. Н., Сурдин В. Г.** Как родились галактики? (на кн.: Л. Э. Гуревич, А. Д. Чернин. Происхождение галактик и звезд) **121**

## НОВЫЕ КНИГИ **123**

**Подольный Роман.** Нечто по имени ничто **[123]** • **Храмов Ю. А.** Биография физики (хронологический справочник) **[123]** • **Коваленко А.** Тайна «дьявольского» камня **[123]** • Научно-исследовательское судно «Витязь» и его экспедиции (1949—1979 гг.) **[124]** • **Никифоровский В. А.** Великие математики Бернулли **[124]** • Видные деятели армянской культуры **[124]**

## В КОНЦЕ НОМЕРА

**Редже Т.** Невероятная история: открытие вечного движения **125**

## Естествознание и теория познания

К 75-летию выхода в свет книги В. И. Ленина  
«Материализм и эмпириокритицизм»

Ю. В. Сачков



Юрий Владимирович Сачков, доктор философских наук, заместитель директора Института философии АН СССР. Область научных интересов — философские проблемы естествознания. Основные работы: Введение в вероятностный мир. М., 1971; Методологические проблемы современного естествознания. М., 1979 и др. Член редколлегии «Природы».

В наши дни много сказано о развитии современного естествознания. Особо подчеркиваются небывало высокие и ускоряющиеся темпы его развития — интенсивный поток новых открытий, непрерывное зарождение новых направлений исследования, необычайно широкий диапазон исследований: от структуры элементарных частиц до эволюции космологических образований, от молекулярных структур клетки до биогеоценозов. Научоведы насчитывают сегодня сотни важнейших направлений научных исследований. И в каждом из них развиты достаточно специализированные методы и получены значительные результаты.

Вместе с тем, несмотря на кажущуюся калейдоскопичность объектов и методов исследования, сохраняется целостный взгляд на научную деятельность, который исторически непрерывно воспроизводится и совершенствуется. В выработке такого взгляда на науку главное место принадлежит определению стратегии ее развития, на базе которой систематизируются и упорядочиваются все виды научной деятельности. Определение стратегии опирается на анализ общих закономерностей развития науки, ее природы, внутренних возможностей и значимости в жизнедеятельности человека — другими слова-

ми, опирается на анализ проблем теории познания.

Такой анализ всегда сопровождал и дополнял развитие естествознания. Великие естествоиспытатели были в той или иной степени и философами, поскольку открывали принципиально новые пути в развитии исследований и боролись за их утверждение в научном мышлении. История науки достаточно определенно говорит, что решение проблем теории познания неизменно связано с мировоззрением человека, оценкой природы его мышления, системой жизненных установок.

Таким образом, забота о развитии естествознания включает в себя и заботу о развитии теории познания и, что не менее важно, заботу об ее активной включенности в реальные процессы познания природы.

В марксистско-ленинской теории познания к числу основополагающих относится труд В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», первое издание которого вышло в свет в мае 1909 г.

«Материализм и эмпириокритицизм» — основной философский труд В. И. Ленина. Он носит энциклопедический характер. В нем рассмотрены те революционные изменения в жизни общества и развитии науки, которые проис-

ходили на рубеже нашего века. Идея диалектического развития — развития науки, философии и общества — прежде всего интересовала В. И. Ленина. Он считал, что признание этой идеи ведет к обогащению человека, его теоретических систем и социального действия. Но он резко выступал против тех, кто не признавал устойчивых ценностей в процессах развития. В книге Ленина приведено широко известное высказывание Ф. Энгельса, что «с каждым, составляющим эпоху открытием, даже в естественноисторической области материализм... неизбежно должен изменять свою форму». Соответственно этому Ленин утверждал, что «ревизия «формы» материализма... необходимо требуется марксизмом»<sup>1</sup>. Но развитие марксистской философии не есть отказ от ее сути под видом критики формы. Подобный отказ, страстно отмечал Ленин, ведет лишь к принятию старых, отживших, реакционных идей, которые были и находятся на службе реакционных социальных сил. Именно с таких позиций Ленин и подверг в своем труде острой критике махизм как разновидность позитивистской философии, претендовавшей на роль «философии естествознания» начала XX в.

Первостепенное внимание в труде уделено проблеме теории познания. Им специально посвящены три из шести глав книги. В свете новейших достижений естествознания на рубеже XIX—XX вв. рассматривается содержание таких категорий, как материя, движение, пространство, время, причинность, сознание, ощущение, опыт, теория, истина и ряда других. Важнейшее значение труда состоит в том, что были развиты исходные представления о теории познания как теории отражения. Были сделаны прогностические высказывания о неисчерпаемости материи вглубь.

Ленин выделил и проанализировал такую важнейшую особенность новейшей революции в естествознании, как «завоевание физики духом математики». Интенсивное взаимодействие физики и математики во второй половине XIX в. привело к становлению теоретической физики. Были разработаны основы статистической механики и учения о поле (электродинамика Максвелла), которые знаменовали становление новых фундаментальных направлений в познании природы. В их создании важнейшее значение сыграли методы математики. В фи-

зике возник новый раздел — математическая физика. Математика проявила удивительную эвристическую силу — вне ее методов развитие теоретической физики стало просто невозможным. Возникла задача осмыслить значение этих принципиальных изменений в науке с позиций познания. Поскольку прогресс в физике воспринимался как следствие применения математических методов, то на объект физических исследований стали смотреть через призму математики.

Математика весьма существенно отличается от физики и вообще, как говорят, от опытных наук. Она наиболее опосредованным образом связана с материальной действительностью. При рассмотрении предмета математики особо подчеркивается ее конструктивный и высоко абстрактный характер. Перенос особенностей предмета математики на предмет естествознания, что и было характерным для ряда представителей новой школы в физике на рубеже XIX—XX вв., и приводил к отрицанию объективной ценности естествознания. Этому прямо способствовали те философские течения мысли, которые тяготились признанием материальной природы мира. «Реакционные поползновения, — отмечал Ленин, — порождаются самим прогрессом науки. Крупный успех естествознания, приближение к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку, порождает забвение материи математиками. «Материя исчезает», остаются одни уравнения»<sup>2</sup>. Математизация физики нуждалась в глубоком осмыслении.

Вторая отличительная черта революции в физике на рубеже XIX—XX вв. — раскрытие относительного характера наших знаний в самих их основах. Сейчас, в исторической ретроспективе, мы знаем, что революция в физике на рубеже нашего века означала признание принципиальной ограниченности классической физики и становление современной (неклассической) физики. Физика интенсивно проникла в микромир, законы которого необычны и диковинны с позиций ранее устоявшихся представлений. Происходила крутая ломка старых понятий, встал вопрос о характере взаимоотношений законов старой и новой физики. Осмысление относительности знаний при незнании диалектики, как отмечал Ленин, неминуемо ведет

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 265—266.

<sup>2</sup> Там же, с. 326.

к идеализму. «Этот вопрос о соотношении релятивизма и диалектики,— отмечал он,— едва ли не самый важный в объяснении теоретических злключений махизма»<sup>3</sup>. Рассматривая эти вопросы, Ленин и развил свое учение о соотношении относительной и абсолютной истины.

Значение труда Ленина определяется не только представленными в нем конкретными результатами. Непреходящее значение заключается в выработке стиля, подхода к анализу и решению философских проблем, в выработке методологии философского исследования. И основное здесь заключается в том, что содержательный анализ и развитие проблем теории познания плодотворны тогда, когда они тесно связаны с раскрытием важнейших особенностей развития естествознания и социальной практики. Именно обращение Ленина к рассмотрению важнейших особенностей новейшей революции в естествознании на рубеже XIX—XX вв. позволило раскрыть причины и основания тех преобразований в философском осмыслении действительности, которые требовали нового, диалектического способа мышления.

Значимость новых открытий и преобразований в науке состоит не только в том, что они знаменуют собою раскрытие свойств и закономерностей нового класса материальных объектов и систем. Принципиальное значение для теории познания имеет то, что познание нового открывает перед человеком новые возможности в дальнейшем движении знаний. Достаточно вспомнить, какой взрыв новых исследований последовал на базе открытия «двойной спирали» — расшифровки структуры молекулы ДНК. Исключительная ценность новых достижений и открытий в том и состоит, что они ведут к новому и весьма необычному видению мира, порождают новые методы исследования и практического действия. Как сказал Ленин: «Ум человеческий открыл много диковинного в природе и откроет еще больше, увеличивая тем свою власть над ней...»<sup>4</sup>

...

Глубокое осмысление великих открытий современного естествознания, раскрытие его определяющих особенностей — дело далеко не из легких. Помимо крутой ломки устоявшихся образов и пред-

ставлений, сложившихся стереотипов мышления, на осмысление принципиально нового в естествознании влияют принятые в том или ином научном сообществе методологические и мировоззренческие исходные установки. Каждое философское течение в науке стремится опереться на непререкаемый авторитет достижений современного естествознания. Ленин отмечал, что «идеалистические философы ловят малейшую ошибку, малейшую неясность в выражении у знаменитых естествоиспытателей, чтобы оправдать свою подновленную защиту фидеизма»<sup>5</sup>. Чтобы представить остроту положения в настоящее время, достаточно напомнить о тех дискуссиях и борьбе, которые ведутся по проблемам генетики в связи с биологией человека, по вопросам социобиологии в связи с анализом закономерностей развития общества, по проблемам происхождения человека в связи с развитием теории Дарвина, по проблемам роли и значения электронной революции в связи с анализом социальных преобразований в современном обществе и многим другим. Можно также упомянуть о ренессансе релятивизма, нашедшем свое отражение в книге Т. Куна «Структура научных революций»<sup>6</sup>.

Воздействие нового на структуру научных исследований далеко не сразу становится ясным. Кто мог сразу осознать, что в 40-х годах нашего столетия из решения довольно-таки частной задачи по теории связи будет сделано одно из важнейших обобщений — разработана теория информации, оказавшая громадное стимулирующее воздействие на весь стиль современного научного мышления.

Рассматривая коренные особенности современного естествознания, остановимся прежде всего на тех новых обобщающих идеях, на базе которых происходит современный синтез знаний. Раскрыть существо и значимость идей можно лучше всего, рассмотрев те изменения, которые происходят с основными структурами знаний.

Основными формами выражения знаний, по крайней мере в настоящее время, являются научные теории как относительно целостные концептуальные систе-

<sup>5</sup> Там же, с. 300—301.

<sup>6</sup> См., в частности: Гинзбург В. Л. Как развивается наука? Замечания по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций». — Природа, 1976, № 6, с. 73; подборку статей «Как развивается наука?» — Природа, 1976, № 10, с. 59.

<sup>3</sup> Там же, с. 327.

<sup>4</sup> Там же, с. 298.

мы, как системы понятий и законов науки. При рассмотрении природы и закономерностей развития знаний именно научным теориям уделяется основное внимание — классической механике, термодинамике, электродинамике, статистической механике, теории относительности, квантовой механике, генетике, теории эволюции Дарвина... Один из важнейших теоретико-познавательных уроков естествознания состоит в том, что в ходе его развития происходит не только разработка новых научных теорий фундаментального порядка, но и претерпевают существенные изменения сами представления о научной теории, ее природе, строении и формах выражения. Соответственно этому в ходе познания существования нового класса материальных систем естествоиспытатели стремятся не просто разработать некоторую теоретическую систему, но и создать теорию, удовлетворяющую определенным логическим стандартам.

В ходе исторического развития естествознания были разработаны два основных класса научных теорий, различающихся по своему логическому строению — жестко детерминированные и статистические. Разработка теорий жесткой детерминации характерна для классического периода развития естествознания — XVII—XIX вв. Представления об этом классе теорий сложились в результате осмысления логической структуры теоретических систем классической физики. Пробразом этих теорий является классическая механика. В качестве определяющей черты этого класса теорий обычно отмечают строго однозначный характер всех без исключения связей и зависимостей, рассматриваемых в рамках этих теорий. Неопределенность и неоднозначность в связях не допускались и могли свидетельствовать лишь о некорректности самой постановки исследовательских задач. Соответственно этому все связи в теории рассматривались как логически равноценные — все они относились к классу необходимых.

По мере развития естествознания и вхождения в него идей диалектики концепция жесткой детерминации стала подвергаться все усиливающейся критике. Абсолютизация и резкое противопоставление необходимости и случайности были подвергнуты резкой критике при становлении марксистской философии<sup>7</sup>. Была вскрыта

ограниченность теорий жесткой детерминации, разработан новый класс теорий — статистические теории. Статистические теории характеризуют магистральные пути развития естественнонаучного знания второй половины XIX — первой половины XX вв. Начало здесь положили классическая статистическая физика, генетика и эволюционная теория Дарвина. Кульминационным пунктом развития данного класса теорий принято считать разработку квантовой механики в 20-х годах нашего столетия. Математическим аппаратом для выражения соответствующих связей и отношений является теория вероятностей. Самым существенным признаком данного класса теорий является то, что в структуру теории принципиальным, неустраняемым образом включаются понятия, которые логически характеризуются через категорию случайности. Понятия теории стали делиться на классы, имеющие различный логический статус. Структура теории стала включать такие связи и отношения, которые характеризуются через неоднозначность и неопределенность. Соответственно сказанному, внутренняя структура статистических теорий является более общей, более содержательной и емкой, характеризуется большими внутренними возможностями для отображения свойств и закономерностей материального мира.

Несмотря на исключительную важность и действенность статистических представлений, в наши дни все более ясно начинает вырисовываться ограниченность и недостаточность этих теорий для познания тех новых объектов, к изучению которых переходит современное естествознание. В повестку дня поставлен вопрос, так сказать, диалектического отрицания статистических теорий, поиск и выработка нового класса теоретических форм выражения знаний. И этот факт является одной из важнейших особенностей современного этапа в развитии естествознания, что имеет первостепенное значение для теории познания. Особо ярко ограниченность статистических теорий проявляется в ходе исследований сложных и высокоорганизованных систем. Эти теории не учитывают внутренним, имманентным образом такую важнейшую черту высокоорганизованных систем, как избирательность, целесообразность и целенаправленность их поведения и функционирования, связь последних с глубинными структурами систем. Статистические теории принципиальным образом включили в свою структуру случайность, новые теории долж-

<sup>7</sup> См.: Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 532—536.



ны подобным образом включать в себя некоторые новые характеристики высокоорганизованных систем.

Принципиально важно, что естествознание не только констатирует ограниченность статистических теорий, но и вырабатывает представления о новом классе законов и концептуальных систем. В физике это уже давно стало выражаться в выработке нового класса законов — законов симметрии, на базе которых отражаются наиболее глубокие свойства элементарных частиц. Не менее важное значение в становлении новых подходов имеет ряд новых обобщающих идей, и прежде всего идеи нелинейности, синергетики и самоорганизации вообще. Все эти идеи заключают в себе колоссальный эвристический заряд. Как сказал, например, Н. Г. Басов: «Настоятельная необходимость философского осмысления нелинейных закономерностей диктуется тем, что не только в процессе научного познания, но и в своей повседневной практике мы фактически сталкиваемся с различными проявлениями нелинейных закономерностей... Мир в целом вышел за рамки линейного приближения. Задача заключается в том, чтобы научиться в нем жить, выработать на основе познания нелинейных закономерностей адекватные этому миру практические способности действия в нем». Нелинейными системами являются такие системы, свойства которых зависят от происходящих в них процессов, т. е. обладают самодействием. В «Физическом энциклопедическом словаре» сказано, что «все физические системы являются нелинейными системами»<sup>8</sup>. Основателем советской школы «нелинейных физиков» был Л. И. Мандельштам. Как сказал С. М. Рытов, он был первым, кто «остро осознал необходимость выработки «нелинейного физического мышления»<sup>9</sup>.

Пристальное внимание привлекает к себе в наши дни и синергетика — новое научное направление, в котором

исследуются эффекты самоорганизации в существенно неравновесных системах. Сюда же практически относятся и введенные И. Пригожиным представления о «диссипативных структурах», которые включают в себя идеи нелинейности и также означают существенное видоизменение всего подхода к анализу проблем возникновения и усложнения материальных структур.

Упомянутые новые подходы направлены на выработку действенных средств и форм нового концептуального видения мира. Но необходимо подчеркнуть, что выработка представлений о новом классе теорий — далеко не однообразный акт. Предстоят трудоемкие и последовательные усилия, где возможны и тупиковые варианты развития теоретической мысли. Вместе с тем достигнутые успехи в выработке новых подходов позволяют говорить об их несомненной перспективности.

Другой важнейшей и принципиальной особенностью современного этапа развития естествознания является стремительное вхождение электронно-вычислительных машин в весь комплекс научных исследований.

Раскрытие существа этих нововведений непосредственно связано с раскрытием роли и значения научного метода. Наука представляет собою особого рода искусство действия. И как в каждом виде деятельности здесь важен прежде всего метод. Методы вообще выражают систему правил и принципов, на основе которых упорядочивается, делается возможной, целенаправленной и осмысленной деятельность человека. Научный метод включает в себя много аспектов: и работу интеллекта, и выработку особого умения, и накопление опыта. Вместе с тем специфику научной деятельности придают выработка, совершенствование и применение особых орудий, средств познания. Природа научного познания такова, что с развитием науки происходит не только приращение все новой и новой информации о внешнем мире и самом человеке, но и выносятся и совершенствуются специальные орудия познания. И современное развитие научного метода во многом олицетворяют электронно-вычислительные машины — непреходящие орудия современного «научного производства».

Как сказал президент АН СССР А. П. Александров, прогресс естествознания «в значительной мере обусловлен развитием методов исследования, приме-

<sup>8</sup> В указанной связи см.: Басов Н. Г. Квантовая электроника и философия. — В кн.: Дialeктика в науках о природе и человеке. Дialeктика — мировоззрение и методология современного естествознания. М., 1983; Кадо м цев Б. Б., Рязанов А. И. Что такое синергетика? — Природа, 1983, № 8, с. 2.

<sup>9</sup> Басов Н. Г. Квантовая электроника и философия, с. 119.

<sup>10</sup> Физический энциклопедический словарь. М., 1983, с. 464.

<sup>11</sup> Нелинейные волны. М., 1981, с. 25.

нением вычислительной техники и совершенных математических методов»<sup>12</sup>.

Разработка и применение вычислительных машин составляет эпоху в развитии жизнедеятельности человека. Принято сопоставлять создание таких машин с двумя принципиальными нововведениями в истории человеческой цивилизации — с открытием огня и созданием паровой машины. Уже одно такое сопоставление означает, что мы живем в период величайших революционных преобразований человеческой цивилизации.

Развитие электронных вычислительных машин, по общему признанию, связано с качественным усилением интеллектуального начала в жизнедеятельности человека. Они успешно применяются и в производстве (развитие технологии), и в системах связи, и в процессах управления. Особо значимо их применение в научных исследованиях. Без применения мощных вычислительных машин в настоящее время невозможно представить развитие таких фундаментальных направлений исследования, как познание материи вглубь, развитие геофизики и проникновение в космос. Электронные вычислительные машины преобразуют и экспериментальное, и теоретическое начало познания. Обращая на себя внимание прежде всего изменения в характере эксперимента. Современный эксперимент принял столь развитые и сложные формы, что необходимо его внутреннее преобразование, чтобы он мог и дальше развиваться. Происходит активная автоматизация эксперимента, и весьма примечательно, что в наиболее сложных и развитых случаях экспериментальные устройства стали работать в сопряжении с вычислительными машинами. Их использование ведет прежде всего к резкому сокращению сроков проведения измерений и обработки результатов эксперимента. Однако наиболее примечательно то, что качественный и количественный анализ параметров действительности, само выявление и регистрация новых свойств в эксперименте становятся невозможными без сопряжения прибора с вычислительными машинами. Сегодня практически все исследования в области общей физики и астрономии требуют автоматизации. Можно сказать, что современный исследователь рассматривает белковую молекулу «через вычислительную машину» подобно

тому, как в прошлом веке он рассматривал клетку через микроскоп.

С разработкой электронных вычислительных машин колоссально возросли возможности теоретического анализа в науке. Происходит интенсивное совершенствование и форм теоретического воспроизведения действительности, исходного языка ее теоретического описания. Является весьма примечательным фактом, что развитие и применение вычислительных машин сопровождается, дополняется и обуславливается становлением и развитием нового и обширного комплекса абстрактно-теоретических дисциплин, в число которых входят теория алгоритмов, абстрактная теория автоматов, исследование операций, теория игр, системный анализ и ряд других. Эти дисциплины становятся обязательными в процессах обучения вычислительной математике. Они выражают принципы строения и функционирования вычислительных машин, принципы постановки, анализа и решения соответствующих исследовательских задач.

В ходе применения вычислительных машин происходит переход науки к «строгим формам» познания нового, более сложного класса материальных систем и процессов. Вырабатываются формы и средства, все более и более ориентированные на раскрытие внутренних свойств и структуры сложных и высокоорганизованных систем. Идет интенсивная разработка, экспликация понятий и характеристик, связанных с общением и развитием представлений об уровнях строения и детерминации сложноорганизованных систем, о сложности их организации, природе внутренней активности, избирательности, целенаправленности и эффективности функционирования. И здесь необходимо сразу же подчеркнуть, что разработка новых понятий, решение исследовательских задач невиданной до сих пор сложности стали возможными благодаря разработке новых средств, нового научного метода — вычислительного (математического) эксперимента.

В основе вычислительного эксперимента лежит построение математических моделей исследуемых процессов и анализ их «поведения» в изменяющихся условиях. При этом как задание моделей, так и «экспериментирование» с ними происходит на базе мощных вычислительных комплексов. Модели всегда несут в себе существенную «скрытую информацию». Сопоставление полученных результатов со специально организованными натурными экспериментами и имеющейся информацией де-

<sup>12</sup> Александров А. П. Наука — стране. М., 1983, с. 165.

дает гораздо более целенаправленным и эффективным процесс научного исследования.

Вхождение вычислительных машин в научные исследования вызвало к жизни и другие общие проблемы познания. Сюда относятся проблемы «искусственного интеллекта», совершенствование диалога «человек — вычислительная машина». Необходимым условием развития автоматизации научных исследований становится анализ структуры и организации научных исследований, что раскрывает пути и возможности включения вычислительных машин в научные разработки. Предъявляются новые требования и к логическим исследованиям. Здесь возникают вопросы — как и в каких формах можно наиболее полно и емко выражать информацию и записывать ее в памяти вычислительных машин, как соотносить новую информацию с контекстом уже имеющейся, как наиболее эффективно задавать вопросы машине, чтобы получать строгие и полные ответы. Сюда же относятся вопросы о значимости искусственных языков.

Вхождение вычислительных машин в научные исследования представляет собою важнейшую определяющую особенность современного познания природы. Ее осмысление с позиций теории познания ставит исключительно важные вопросы о внутренних возможностях языка науки, о формах, методах и закономерностях развития познания. Без учета возможностей вычислительной техники ныне нельзя определить стратегические направления развития современной науки.

Современное естествознание характеризуется и рядом других важнейших особенностей. Сюда относятся: становление нового комплекса научных проблем — глобальных проблем, сращивание науки и производства, разработка программно-целевых форм организации и планирования науки, создание научно-промышленных комплексов, вопросы социальной направленности развития науки и ее ответственности перед обществом. Несомненно, что анализ этих определяющих особенностей современного естествознания лежит в основе современной теории познания, если она претендует на то, чтобы включиться в реальную ткань развития наук о природе.

Роль и значение рассмотренных Лениным в «Материализме и эмпириокри-

тицизме» проблем теории познания невозможно полностью оценить, не рассмотрев его общее отношение к науке. Научный подход неотделим от социального прогресса. Первостепенная задача научного познания состоит в том, чтобы выявлять новые возможности и средства для экономического, социального и духовного прогресса человека. Именно такой подход характерен для всех трудов Ленина. В одной из самых первых своих работ он писал: «Прямая задача науки, по Марксу, это — дать истинный лозунг борьбы»<sup>13</sup>. А в одной из последних работ Ленина мы читаем: «Нам надо... чтобы наука действительно входила в плоть и кровь, превращалась в составной элемент быта вполне и настоящим образом»<sup>14</sup>. Все труды Ленина наглядно показывают, что развитие современного общества по пути мира и социального прогресса немыслимы без опоры на науку. Наша эпоха — эпоха научно-технической революции и социалистических преобразований общества — наглядно подтверждает, что именно развитие научного познания дает все новые и новые формы для выражения творческого и гуманистического начал в человеке. Работа Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» ясно говорит, что, разрабатывая казались бы отвлеченные вопросы теории познания, нельзя забывать об их общественно-исторической ценности.

<sup>13</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 1, с. 341.

<sup>14</sup> Там же, т. 45, с. 391.

## Математика в творчестве Карла Маркса

З. А. Кузичева



Зинаида Андреевна Кузичева, кандидат физико-математических наук, сотрудник кафедры теории вероятностей Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается историей математики и математической логики. Основные работы: Векторы, алгебры, пространства. М., 1970; Математическая логика. — В кн.: Математика XIX века. Математическая логика. Алгебра. Теория чисел. Теория вероятностей. М., 1978 и др.

То, что К. Маркс интересовался и занимался математикой, нельзя считать неожиданным. Маркс придавал науке большое значение, видя в ней рациональную основу всей человеческой культуры. Отсюда его интерес ко всем областям научного знания. Бесспорно и то, что величайшие открытия Маркса в теории исторического процесса, политической экономики и философии, составившие огромный шаг в научном развитии человечества, предполагали освоение разных научных дисциплин, в том числе и математики. В 1885 г. в предисловии ко второму изданию «Анти-Дюринга» Ф. Энгельс писал: «...для диалектического и вместе с тем материалистического понимания природы необходимо знакомство с математикой и естествознанием»<sup>1</sup>. В этом же предисловии Энгельс упоминает оставшиеся после Маркса рукописи по математике: «В данный момент я вынужден ограничиться набросками, содержащимися в предлагаемой работе,— писал Энгельс,— и ждать в будущем случая, который позволил бы мне собрать и опубликовать добытые результаты,— быть может, вместе с оставшимися после Маркса рукописями по математике, имеющими в высшей степени важ-

ное значение»<sup>2</sup>. Насколько нам известно, это первое по времени указание в литературе на серьезность занятий Маркса математикой. Как явствует из приведенных слов, Энгельс собирался опубликовать рукописи Маркса по математике. К сожалению, знакомство широкой читательской аудитории с этой частью творческого наследия Маркса по ряду причин и надолго затянулось.

Главным делом своей жизни Маркс считал завершение работы над «Капиталом». При его жизни, в 1867 г., вышел первый том. Над вторым он работал до последних дней жизни. После смерти Маркса все его бумаги перешли в распоряжение Энгельса и младшей дочери Маркса Элеоноры. «После смерти бедного Мавра Тусси»<sup>3</sup> в ответ на мой вопрос сообщила мне, что он сказал ей, чтобы она и я распорядились всеми его бумагами и позаботились об издании того, что следует издать, особенно второго тома и математических работ,— писал Энгельс средней дочери Маркса Лауре Лафарг<sup>4</sup>.

Работа над изданием II тома «Капи-

<sup>2</sup> Там же, с. 12—13.

<sup>3</sup> Маркса в семье часто называли Мавром, а его младшую дочь Элеонору — Тусси.

<sup>4</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 36, с. 37.

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 10—11.

тала», который в процессе подготовки к публикации был разделен на два тома, оказалась исключительно тяжелой. Ради нее Энгельс на долгие годы отложил собственные сочинения. Опубликовать математические рукописи он не смог, как не опубликовал и свою «Диалектику природы». Энгельс предполагал передать свои и Маркса бумаги германской социал-демократической партии, но оказалось, что по английским законам организация не может быть официальным наследником. Поэтому бумаги были завещаны К. Каутскому и Э. Бернштейну в надежде, что они приложат усилия к их изданию. Но ни тот, ни другой завещания Энгельса не выполнили.

По указанию В. И. Ленина в 20-е годы были сделаны фотокопии многих бумаг и писем Маркса и Энгельса, в том числе и математических рукописей. В 30-е годы было начато их изучение группой ученых под руководством С. А. Яновской. Три рукописи под названием «Производная и символический дифференциальный коэффициент», «Дифференциал и дифференциальное исчисление» и «Исторический очерк», а также некоторые подготовительные материалы к ним были опубликованы в 1933 г. в переводе на русский язык<sup>5</sup>.

В 50-е годы Институтом марксизма-ленинизма при ЦК КПСС в содружестве с учеными Московского университета была начата подготовка к изданию математических рукописей Маркса. Предстояла огромная работа: необходимо было расшифровать имеющиеся тексты математического содержания, отделить самостоятельные работы от массы конспектов и выписок, а в последних выделить самостоятельные высказывания и замечания, установить время их написания.

Одна из отличительных особенностей рукописей Маркса по математике заключается в том, что второстепенные или не заслуживавшие большого внимания источники в ссылках не упоминаются. Чтобы установить эти источники, пришлось изучить литературные фонды в библиотеках Британского музея, Лондонского и Кембриджского университетов, Лондонского королевского общества, многих колледжей в Лондоне и Кембридже, личные библиотеки некоторых видных английских ученых XIX в.

В 1968 г. издательство «Наука» вы-

пустило книгу Маркса «Математические рукописи», в которой параллельно на языке оригинала и в переводе на русский язык рукописи Маркса по математике, носящие более или менее законченный характер или содержащие его самостоятельные замечания по тем или иным вопросам, публикуются полностью.

В настоящее время Институтом марксизма-ленинизма при ЦК КПСС совместно с институтом марксизма-ленинизма при ЦК СЕПГ издается на немецком языке полное собрание сочинений Маркса и Энгельса — *Marx/Engels Gesamtausgabe* (MEGA). Издание подразделяется на четыре отдела. В I отделе публикуются сочинения Маркса и Энгельса, в том числе черновые варианты и неоконченные произведения; II отдел составит «Капитал» и все подготовительные материалы к нему; III отдел — переписка; в IV войдут конспекты и выписки.

В этом издании будут опубликованы полностью и математические рукописи Маркса. Неоценимую помощь в подготовке этого издания окажет вся та работа, которая уже проделана. Разумеется, перед подготовителями стоят и нерешенные задачи, среди которых — проблема датировки рукописей.

Итак, какое же место занимала математика в творчестве Маркса? Мы попытаемся ответить на этот вопрос, начав с обсуждения того, когда Маркс обратился к математике, какие ее разделы попали в поле его внимания, к какой области математики относятся его самостоятельные работы.

Прямых данных о том, когда Маркс приступил к изучению математики, нет. По-видимому, это произошло в начале 50-х годов, в период его систематических занятий в библиотеке Британского музея. Такое предположение подтверждается письмом к Энгельсу от 11 января 1850 г., в котором Маркс пишет: «При разработке основ политической экономии меня так чертовски задерживают ошибки в подсчетах, что с отчаяния я вновь засел за быстрое прохождение алгебры. Арифметика никогда не давалась мне. Но окольным алгебраическим путем я скоро опять возьму правильный прицел»<sup>6</sup>. Стимулом к занятиям служили не только те чисто технические затруднения, о которых Маркс пишет в письме. Он интересовался в связи с изучением экономических отношений

<sup>5</sup> См.: Марксизм и естествознание. М., 1933, с. 5—61.

<sup>6</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 29, с. 210.

и историей промышленности и машинного производства, понять которую нельзя в отрыве от истории теоретической механики, физики и таких разделов математики, как дифференциальное и интегральное исчисления. Имеется датированная 1851 г. тетрадь Маркса, в которой наряду с заметками по истории технологии содержатся выписки, относящиеся к истории математики.

Большая часть рукописей так или иначе относится к области математического анализа. Мне не хотелось бы создать впечатление, что все рукописное наследие Маркса, относящееся к математике, легко раскладывается по ее разделам. Существуют и смешанные тексты. Скажем, в тетрадях по алгебре встречаются фрагменты, относящиеся к коммерческой арифметике и т. п.

Как уже отмечалось, основная масса рукописей относится к области математического анализа. Именно к ней относятся и самостоятельные работы Маркса по математике. Первое и естественное желание, возникающее при систематизации всего этого материала, — отделить конспекты и выписки от самостоятельных работ. Действительно, в рукописях этого раздела имеются типичные «представители» и того, и другого сорта. Но среди них и такие, в которых систематизируется ранее изученный материал, новый подбирается с точки зрения зарождающейся у автора концепции, содержатся черновые наброски и варианты незавершенных самостоятельных работ. К рукописям этого раздела справедлива характеристика, которую дал Энгельс рукописям Маркса по II и III томам «Капитала»: «Наряду с отдельными, обстоятельно изложенными частями, другие, не менее важные, только намечены; фактический материал для иллюстраций собран, но едва сгруппирован, не говоря уже об обработке; в конце главы, стремясь быстрее перейти к следующей, Маркс часто ставил лишь несколько отрывочных фраз, намечающих развитие мысли<sup>7</sup>, оставленное здесь незаконченным; наконец, известный почерк, разобрать который иной раз не мог сам автор»<sup>8</sup>.

Не меньшие трудности противостоят попытке расположить материал в хронологической последовательности. И дело здесь не только в том, что Маркс работал одновременно над несколькими темами и что подавляющее большинство его математических рукописей не датировано. Некоторые математические заметки сделаны в датированных тетрадях по политической экономии. Одна из них относится к 1844 г. Но о времени написания математических выкладок, содержащихся на последних ее листах, сказать определенно нельзя, ибо эти листы могли использоваться значительно позднее.

Две, теперь достаточно широко известные, самостоятельные работы, опубликованные соответственно под заголовками «О понятии производной функции» и «О дифференциале»<sup>9</sup>, написаны Марксом в 1881 г. Из цитированного ранее письма к Энгельсу видно, что в 1850 г. Маркс был вынужден обратиться к алгебре. Если сопоставить эти две даты, получается, что Маркс занимался математикой в течение трех десятилетий и получил, наконец, свои результаты. Но такой вывод не соответствует действительности. Да, Маркс сохранял живой интерес к математике на протяжении этого периода. Но за это время он обращался к ней периодически, часто урывками, тогда, когда не имел возможности работать над «Капиталом». Мы попытаемся проследить логику становления его собственной точки зрения на основы дифференциального исчисления.

Чисто формально для определения производной функции от данной функции  $f(x)$  в данной точке  $x$  берутся разности  $x_1 - x$  и  $f(x_1) - f(x)$ , где  $x_1$  — произвольная, отличная от  $x$  точка, составляется отношение этих разностей  $\frac{f(x_1) - f(x)}{x_1 - x}$ , после чего необходимо снова вернуться в точку  $x$ , т. е. фактически положить  $x_1 = x$ , но при этом рассматриваемое отношение превращается в  $\frac{f(x) - f(x)}{x - x}$ , что лишено смысла.

Именно в этом суть проблемы, которую решал Маркс, — что по существу происходит, какие процессы стоят за формальными вычислениями производных. В поисках ответа на этот основной для него

<sup>7</sup> В черновых набросках математических рукописей стремление Маркса не задерживаться на технических деталях, а записать суть дела, мысль часто проявляется в том, что формулы лишь намечаются, не всегда аккуратно выписываются коэффициенты и т. п., в то время как завершенные вещи оформлены весьма аккуратно.

<sup>8</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 24, с. 3—4.

<sup>9</sup> Маркс К. Математические рукописи. М., 1968, с. 28—45; 46—75. В рукописях Маркса эти две работы не имеют названия. Имеющиеся в тексте заголовки предложены подготовителями данного издания.

вопрос Маркс изучил обширную литературу, но ответа не нашел<sup>11</sup>.

Правда, вначале Маркс заинтересовался точкой зрения Лагранжа, «чья теория производных функций подвела новую базу под дифференциальное исчисление»<sup>11</sup>. Лагранж отправляется от  $x + \Delta x = x_1$  или  $x + h = x_1$ . Он опирается затем на теорему Тейлора о разложении в ряд функции  $f(x+h)$  по степеням  $h$ :

$$f(x+h) = f(x) + \frac{f'(x)}{1} h + \frac{f''(x)}{1 \cdot 2} h^2 + \dots$$

Если такое разложение получено, то методом неопределенных коэффициентов из него легко найти последовательные производные функции  $f'(x)$ ,  $f''(x)$ , ... Однако затем Маркс пришел к выводу, что и это обоснование не является достаточно убедительным: «1) Этот ряд отнюдь не доказан» и «2)... условия или предположения, заключающиеся в недоказанном Тейлоровом исходном уравнении, содержатся, разумеется, и в выведенной из него теореме»<sup>12</sup>. Но к идее алгебраического обоснования дифференциального исчисления он отнесся с большим сочувствием, и именно в связи с этим он изучил многие разделы алгебры.

Для некоторых классов функций Маркс предложил способ получения производной, названный им «алгебраическим дифференцированием»<sup>13</sup>. Для данной функции  $f(x)$  обычным образом составляется отношение  $\frac{f(x_1) - f(x)}{x_1 - x}$ .

Если существует такая функция  $\varphi(x, x_1)$ , что

$$\varphi(x, x_1) = \frac{f(x_1) - f(x)}{x_1 - x}$$

во всех точках, кроме  $x_1 = x$ , и  $\varphi(x, x_1)$  определена при  $x_1 = x$ , то значение ее в этой точке и есть производная функции  $f(x)$ , т. е.  $f'(x) = \varphi(x, x)$ . Функцию  $\varphi(x, x_1)$  Маркс называет «предварительной производной».

Пусть, например,  $y = x^n$ , тогда

$$\varphi(x, x_1) = \frac{x_1^n - x^n}{x_1 - x} = x_1^{n-1} + x x_1^{n-2} + \dots + x^{n-1},$$

откуда при  $x_1 = x$  получаем

$$f'(x) = \varphi(x, x) = n x^{n-1}.$$

В основе подхода Маркса в современной нам терминологии лежит раскрытие неопределенности типа  $\frac{0}{0}$ .

Если при  $x_1 = x$  ввести обозначения  $x_1 - x = \lambda x$ ,  $f(x_1) - f(x) = y_1 - y = \lambda y$ , то  $\varphi(x, x_1) = \frac{\lambda y}{\lambda x}$ ; тогда при  $x_1 = x$  получаем  $f'(x) = \frac{dy}{dx}$ , причем «символический дифференциальный коэффициент  $\frac{dy}{dx}$ »

здесь как единый, нерасчлененный символ. Но в случае дифференцирования сложной функции, например  $y = uz$ , где  $u, z$  — функции от  $x$ , имеем  $\frac{d(uz)}{dx} = u \frac{dz}{dx} + z \frac{du}{dx}$ ,

и «символический дифференциальный коэффициент становится, таким образом, самостоятельным исходным пунктом, реальным эквивалент которого лишь должен быть найден... Но тем самым и дифференциальное исчисление выступает как некое специфическое исчисление, которое оперирует уже самостоятельно, на собственной почве, ибо исходные пункты его  $\frac{du}{dx}$ ,  $\frac{dz}{dx}$  суть лишь ему принадлежащие и его характеризующие математические величины. И это оборачивание метода получилось здесь как результат алгебраического дифференцирования  $uz$ . Алгебраический метод, таким образом, сам собой превратился в противоположный ему дифференциальный метод... Но тем самым символические дифференциальные коэффициенты  $\frac{du}{dx}$ ,  $\frac{dz}{dx}$  тотчас же превращаются в

оперативные символы, в символы процессов, которые должны быть выполнены... для отыскания их «производных». Первоначально возникший как символическое выражение «производной», т. е. уже выполненных операций дифференцирования, символический дифференциальный коэффициент теперь играет роль символа тех операций дифференцирования, которые только предстоит еще произвести»<sup>14</sup>.

<sup>10</sup> Использованная Марксом литература еще не содержала обоснования дифференциального исчисления на базе понятия предела, хотя на европейском континенте в то время это обоснование успешно разрабатывалось; работы французского математика Коши, содержащие понятие предела, были опубликованы уже в 1823 г. Но Маркс не знал этих работ.

<sup>11</sup> Маркс К. Математические рукописи, с. 193.

<sup>12</sup> Там же, с. 199—201.

<sup>13</sup> В соответствии с принятой в XIX в. терминологией Маркс называл «алгебраическими» методы, не использующие бесконечно малых.

<sup>14</sup> Маркс К. Математические рукописи, с. 55—57.

Таким образом, суть в том, что дифференциальные символы являются оперативными, они представляют стоящие за ними реальные (как говорит Маркс) вычислительные процессы. Символическое дифференциальное исчисление возникает в результате оборачивания метода, суть которого в том, что исторически вторичные объекты — символы операций — в исчислении становятся исходными, первичными, маскируя тем самым свое происхождение от реальных процессов.

Необходимость объяснения правомерности операций дифференциального исчисления — одна из основных проблем обоснования анализа бесконечно малых. Маркс не только предложил свою точку зрения на сущность операций дифференциального исчисления. Он пришел к ней в результате изучения истории вопроса, начиная с трудов основателей исчисления Ньютона и Лейбница.

В истории обоснования операций дифференциального исчисления Маркс выделяет три периода: мистическое дифференциальное исчисление — XVII в., время Ньютона, Лейбница; рациональное дифференциальное исчисление — XVIII в., время работ Даламбера и Эйлера; чисто алгебраическое дифференциальное исчисление — конец XVIII — начало XIX в., Лагранж. Периодизация Маркса отвечает на принципиальные вопросы истории математического анализа.

Маркс считал настолько важной историю вопроса для понимания современного ему состояния и основ дифференциального исчисления, что предполагал написать для Энгельса исторический очерк. Маркс подготовил несколько вариантов начала, однако до конца очерк не успел довести.

Для Маркса понять какое-либо явление природы или общественной жизни означало прежде всего обнаружить в нем проявление законов диалектики. Это верно и применительно к математике: первым шагом в постижении сущности операций и методов дифференциального исчисления было то, что Маркс увидел в них действие законов диалектики. В работе «О понятии производной функции» он следующим образом объясняет процесс получения производной. Пусть  $y=ax$ , если  $x$  возрастает до  $x_1$ , то  $y_1=ax_1$  и  $y_1-y=a(x_1-x)$ .

Если мы теперь произвели дифференциальную операцию, т. е. дали бы  $x_1$  уменьшиться до  $x$ , то получили бы

$$x_1=x, \quad x_1-x=0,$$

следовательно,

$$a(x_1-x)=a \cdot 0=0. \\ \langle \dots \rangle$$

Таким образом,

$$y_1-y=a(x_1-x) \text{ превратилось бы в } 0=0.$$

Сначала полагание разности, а затем обратное ее снятие приводит, таким образом, буквально к ничему. Вся трудность в понимании дифференциальной операции (как в понимании отрицания отрицания вообще) заключается именно в том, чтобы увидеть, чем она отличается от такой простой процедуры и как ведет поэтому к действительным результатам<sup>15</sup>.

Однако Маркс не ограничивается простой констатацией проявления закона отрицания отрицания. Он считает, что дифференциальное исчисление должно быть обосновано на «почве самого дифференциального исчисления».

Хотелось бы еще сказать несколько слов о том, в какой связи с современной ему математикой находились изыскания Маркса. Наиболее продуктивными для него в математическом отношении были 1878—1881 гг. К этому времени на европейском континенте в трудах О. Л. Коши, К. Вейерштрасса, Г. Кантора и др. по существу сформировалась принятая в наше время трактовка математического анализа. В английской математике в этот период все еще были очень сильны ньютоновские традиции, незыблемыми считались его синтетический метод и обозначения. Маркс, как уже было сказано, изучал математику самостоятельно, придерживаясь принятых в английских университетах традиций. С тем направлением анализа, которое развилось на континенте, он знаком не был. Поэтому напрашивается вывод, что в его математических работах не было откликов на современную ему проблематику. Так, характеризуя обстановку, в которой работал Маркс, С. А. Яновская заключает: «Неудивительно поэтому, что в своих математических рукописях Маркс не мог отреагировать на ту — более современную — проблематику в математическом анализе, которая создавалась в это время на континенте»<sup>16</sup>.

Однако, может быть, в эту оценку следует внести некоторые уточнения. Дело в том, что в противовес ньютоновской

<sup>15</sup> Там же, с. 29.

<sup>16</sup> Там же. Предисловие, с. 9.



традиции в Англии с начала XIX в. бурно развивалось так называемое аналитическое направление, представители которого на основе аксиоматического метода создавали «символические исчисления». Сторонники этого направления исходили из того, что буквенные символы и операции над ними вводятся формально. Смысл символов и операций зависит от интерпретаций. Символически строились алгебра, некоторые разделы математического анализа.

От влияния современного ему анализа, развиваемого учеными европейского континента, Маркс, безусловно, был изолирован. Однако не следует исключать возможность влияния школы символистов, той научной атмосферы, которая существовала в Англии того времени. Как мы видели, для Маркса суть дифференциальных коэффициентов заключается в том, что они являются символами соответствующих реальных вычислительных процессов. А это как раз и определяет успех применения символических исчислений в математике.

Итак, мы видели, что Маркс увлекся математикой настолько серьезно, что не будучи специалистом-математиком, получил собственные результаты в основаниях математического анализа и его истории — в области, не имевшей для него прямого «прикладного» значения. Он также размышлял над применением математики в политической экономии. И не только для сравнительно простых расчетов. В письме к Энгельсу от 31 мая 1873 г. Маркс формулирует по существу проблему построения математических моделей в экономике: «Я рассказал здесь Муру<sup>17</sup> одну историю, с которой *privatim*<sup>18</sup> долго провозился. Но он думает, что вопрос неразрешим или, по крайней мере, *pro tempore*<sup>19</sup> неразрешим ввиду многих и большей частью лишь подлежащих обнаружению факторов, относящихся к этому вопросу. Дело в следующем: ты знаешь таблицы, в которых цены, учетный процент и т. д. и т. д. представлены в их движении в течение года и т. д., в виде восходящих и нисходящих зигзагообразных линий. Я неоднократно пытался — для анализа кризисов — вычислить эти *up and downs*<sup>20</sup> как неправильные кривые

и думал (да и теперь еще думаю, что с достаточно проверенным материалом это возможно) математически вывести из этого главные законы кризисов. Мур, как я уже сказал, считает задачу пока невыполнимой, и я решил до поры до времени отказаться от нее»<sup>21</sup>.

Хотя столь трудная задача не могла быть решена в то время, занятия Маркса математикой оказывали самое непосредственное влияние на его исследования в области политической экономии. В качестве примера достаточно сослаться на анализ отношений между нормой прибавочной стоимости и нормой прибыли из 3-й главы III тома «Капитала».

В заключение укажем на еще одну, на первый взгляд, неожиданную роль, какую играла математика в жизни Маркса. Она была для него одним из способов отвлечься от забот, обрести душевное равновесие. П. Лафарг в своих воспоминаниях так рассказывает об этом: «Отдыхом ему служила только ходьба взад и вперед по комнате; от двери до окна была вытоптана на ковре полоска, которая резко выделялась, точно тропинка на лугу. По временам Маркс ложился на диван и читал роман, причем иногда начинал сразу несколько книг, читая их попеременно...»

У Маркса было еще одно весьма примечательное средство для умственного отдыха — математика, к которой он питал особое пристрастие. Алгебра служила ему даже нравственным утешением: он прибегал к ней в самые мучительные моменты своей беспокойной жизни. Во время последней болезни жены он не мог продолжать обычных занятий; он мог сколько-нибудь отвлечься от тяжелого состояния, вызываемого ее страданиями, только погружаясь в математику. В это время — время душевных мук он написал работу по исчислению бесконечно малых величин, которая по отзывам знавших ее математиков, имеет большое значение и должна быть опубликована в собрании его Сочинений. В высшей математике он находил диалектическое движение в его наиболее логичной и в то же время простейшей форме. Он считал также, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой»<sup>22</sup>.

<sup>17</sup> Мур, Сэмюэл (ок. 1830—1912), близкий друг Маркса, с которым он пытался обсуждать математические проблемы.

<sup>18</sup> между нами говоря

<sup>19</sup> временно

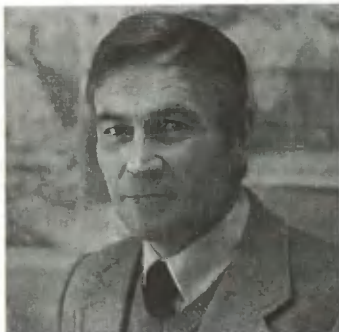
<sup>20</sup> повышения и понижения

<sup>21</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 33, с. 71—72.

<sup>22</sup> Воспоминания о К. Марксе и Ф. Энгельсе. М., 1983, т. 1, с. 143—144.

## Коралловые острова в море... и на суше

М. Г. Леонов



Михаил Георгиевич Леонов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института АН СССР, главный ученый секретарь и председатель советской части Проблемной комиссии многостороннего сотрудничества академий наук социалистических стран «Геосинклинальный процесс и становление земной коры». Занимается вопросами общей геотектоники.

...Плосковершинные горы и атоллы... являются важным геологическим явлением, и понимание сформировавших их процессов... может направить по верному руслу теорию развития Земли — так же, как удачная догадка на основе, казалось бы, мелкого факта приводит к раскрытию тайны в детективном романе.

Т. Гэскелл

Мореплаватели времени Колумба и Магеллана не имели ни малейшего представления о рельефе океанического дна и, тем более, о его строении. Но и они уже были хорошо знакомы с одним из удивительнейших феноменов природы — коралловыми атоллами и вулканическими островами, возвышающимися над поверхностью океана. Хотя древние мореходы, вероятно, и не предполагали, что есть что-то общее между огнедышащими горами и идиллически прекрасными низкими островами со сверкающими изумрудными лагунами, окруженными бахромой стройных пальм. Эти романтические участки суши издавна привлекали внимание путешественников, художников, ученых. Но мало кто из непосвященных людей знает, что с этими удивительными образованиями связана одна из загадок природы, решить которую наука пытается уже почти полтора столетия. Однако, чтобы понять суть проблемы, необходимо все изложить по порядку.

### ЧТО ТАКОЕ АТОЛЛЫ И ГАЙОТЫ?

«Атоллы — самый распространенный тип коралловых рифов в океанах и, несомненно, самый известный», — писал крупный американский океанолог Ф. Шепард<sup>1</sup>. В настоящее время, благодаря геофизическим исследованиям, глубоководному бурению и драгированию, установлено, что дно Мирового океана буквально усеяно различного рода возвышенностями и горами. Часть этих гор достигает поверхности океана и образует острова, часть же скрыта в глубинах и недоступна прямому наблюдению. Подводные и выходящие на дневную поверхность горы — одна из наиболее характерных особенностей рельефа дна современных океанов, особенно Тихого и Индийского. В пределах одного только Тихого океана обнаружено несколько

<sup>1</sup> Шепард Ф. Земля под морем. М., 1964, с. 216.

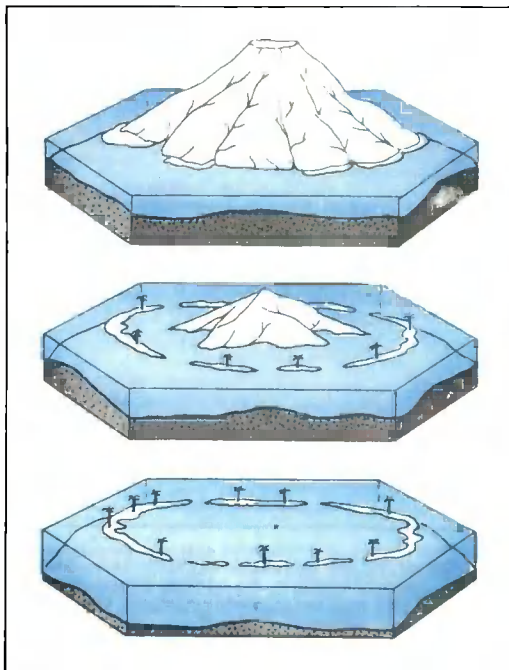
ко десятков тысяч подводных гор и многие сотни мелких и крупных островов. В Атлантическом и Индийском океанах их меньше, но в каждом из них число островов и подводных гор превышает тысячу. Подводные возвышенности и океанические острова могут располагаться беспорядочно, могут образовывать линейные вытянутые гряды и могут венчать крупные валлообразные поднятия типа поднятия Дарвина в Тихом океане. Такое широкое распространение подводных и надводных гор, очевидно, отражает какие-то важные закономерности развития дна современных океанов, а также определенные особенности строения и эволюции океанической коры<sup>2</sup>.

Атоллы — это кольцевые коралловые рифы с центральной лагуной. Типичный атолл состоит из цепочки островов, поднимающихся над кольцевой отмелью на несколько десятков сантиметров, реже на метр и более. Коралловые полипы, строящие риф, нуждаются в солнечном свете и не могут расти на глубине, превышающей несколько десятков метров, и, следовательно, коралловые рифы должны формироваться на мелководье. Но откуда же взялись отмели в центральных частях океана, где глубина достигает многих километров?

Впервые ответ на этот вопрос дал Ч. Дарвин, который во время своего знаменитого кругосветного путешествия на корабле «Бигль» наблюдал и изучал многочисленные коралловые острова. Именно ему принадлежит оригинальная идея, объясняющая формирование коралловых рифов. Он предположил, что сначала на океаническом дне рос вулкан. Когда тот достигал поверхности воды, формировался вулканический остров, вокруг которого вырастал коралловый риф. Затем остров медленно опускался со скоростью, позволяющей коралловым полипам наращивать риф настолько, чтобы он лишь слегка выступал из воды. Со временем остров скрывался в глубине океана, а кораллы продолжали наращивать риф с той же скоростью, с которой погружался остров. «В конечной стадии, — по образному выражению Т. Гэскелла, — коралловые атоллы

образуют своего рода надгробья над постепенно исчезающими островами»<sup>3</sup>.

Гипотеза Дарвина чрезвычайно изящна, но она не смогла объяснить некоторых моментов, в частности причины погружения вулканической постройки. Более того, долгое время не была известна мощность рифовых образований. Многие исследователи полагали, что она составляет только первые десятки метров и нет никакой необходимости привлекать для объяснения возникновения рифов механизм



Блок-диаграмма, иллюстрирующая гипотезу Ч. Дарвина о развитии атоллов вследствие погружения вулканических островов и сопутствующего ему роста коралловых рифов.

погружения вулканических гор. Родилась серия новых гипотез.

А. Пенк предположил, что атоллы образовались в результате роста рифов в течение послеледникового периода, когда из-за таяния ледников поднялся уровень Мирового океана. По мнению другого исследователя — Х. Мюррея, поверхность вулканического конуса срезается

<sup>2</sup> Корой называется верхняя оболочка Земли. Выделяются континентальный и океанический типы земной коры, различающиеся строением, составом пород и толщиной. Основные особенности континентальной коры — большая мощность и присутствие «гранитно-метаморфического» слоя.

<sup>3</sup> Гэскелл Т. Ф. Под глубинами океанов. М., 1963, с. 139.

волнами и на ней начинают отлагаться морские осадки. Когда верхний слой осадков достигает той глубины, на которой могут селиться и жить коралловые полипы, начинается формирование кораллового рифа.

Споры, разгоревшиеся вокруг проблемы происхождения атоллов, привлекли внимание многих исследователей и геологических обществ. Помочь выявлению истины могло только бурение. Начиная с 1897 г., когда англичанами была пробурена первая скважина на атолле Фунафути в Тихом

строек имеют достаточно древний возраст и их образование началось еще в меловом периоде, т. е. около 150 млн лет назад. Выявлена также эмпирическая закономерность, отражающая общее увеличение возраста рифовых построек при их удалении от центра океана к его периферии. Все эти данные привели к возникновению серии новых гипотез, из которых наибольший интерес в настоящее время представляет гипотеза Х. Хесса<sup>4</sup>. Суть ее сводится к следующему.

В соответствии с распространенной

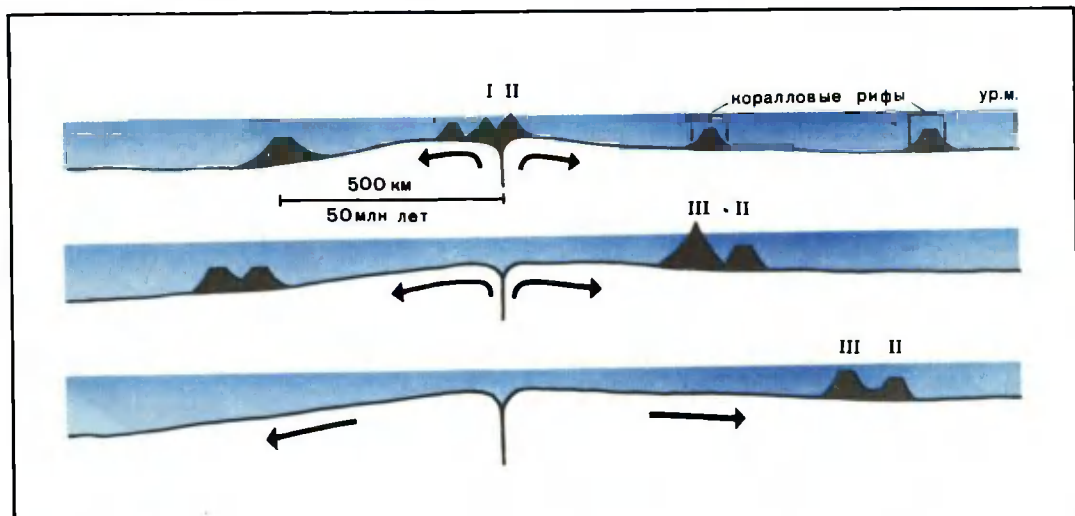


Схема формирования атоллов и гайотов (по Х. Хессу). Вулканы, образовавшиеся на гребне океанического хребта и спустя несколько миллионов лет срезаемые абразией, перемещаются в стороны от хребта со скоростью около 1 см в год и погружаются со скоростью 0,02—0,04 мм в год. Такой незначительный темп погружения благоприятен для роста кораллов и образования атоллов. На верхнем профиле показаны вулканы I и II, образовавшиеся по обе стороны от оси хребта. На среднем профиле видны те же вулканы, переместившиеся в противоположных направлениях, а также более молодой вулкан III. На нижнем профиле показано, как этот вулкан превратился в гайот III, переместился вместе с блоком земной коры и погрузился; его вершина, однако, осталась выше гайота II, образовавшегося на месте более древнего вулкана.

океане, и до настоящего времени разбурено много атоллов. Некоторые скважины достигли глубины более 1500 м. Бурение внесло ясность во многие аспекты проблемы. В частности, установлено, что рифовые постройки возникают на вулканическом основании и что мощность рифа может достигать многих сотен метров, а на отдельных атоллах километра и более. В этом случае нижние части рифовых по-

сейчас концепцией «тектоники литосферных плит», в центральных частях океанов, а точнее в зонах срединно-океанических хребтов, образуется новая океаническая кора, формирование которой обусловлено подъемом из мантии все новых и новых порций глубинного материала. Вследствие латерального дрейфа океанической коры (океанических литосферных плит) возникающие в зоне срединно-океанических хребтов вулканические постройки перемещаются с течением времени от центральных частей океана к его периферии. Это перемещение сопровождается медленным погружением вулканов, так как глубина океана в области глубоководных равнин куда значительнее, чем в зоне срединно-океанического хребта. По мере продвижения вулкана во все более глубокие

<sup>4</sup> Хесс Х. Срединно-океанические хребты и тектоника дна океана.— В кн.: Геология и геофизика морского дна. М., 1969.

части океана вершина вулканического конуса разрушается под действием волн и вулкан превращается в плосковершинную гору — гайот. Будут ли на вершине этой горы расти коралловые рифы и сформируется атолл, или плоская вершина гайота погрузится на глубину, на которой невозможна жизнь рифообразующих организмов? Это зависит от многих факторов: скорости погружения, климатических условий и пр. Таким образом, Хесс, как и многие другие исследователи, связывает формирование плосковершинных гор с абразивной деятельностью волн. Однако сам механизм развития и роста коралловых рифов обусловлен, по его мнению, движением океанической коры и постепенным перемещением вулканической постройки от центра океана к его периферии.

Интересная гипотеза формирования гайотов была высказана на страницах журнала «Природа» Б. М. Валаевым<sup>5</sup>, который на примере вулкана Маунт-Асмар, расположенного во впадине Афар в Северо-Восточной Африке, показал, что формирование плоских вершин может быть связано с взрывными извержениями «и последующей косметизацией... плоских вершин воздействием волн». Но как бы там ни было, обилие гипотез показывает, что проблему возникновения и эволюции коралловых островов и гайотов нельзя считать решенной.

Подведем итоги различным представлениям о природе коралловых атоллов и плосковершинных подводных гор и суммируем главные из имеющихся к настоящему моменту данных об этих морфо-структурных образованиях:

подавляющее число внутриокеанических гор имеет вулканическое происхождение;

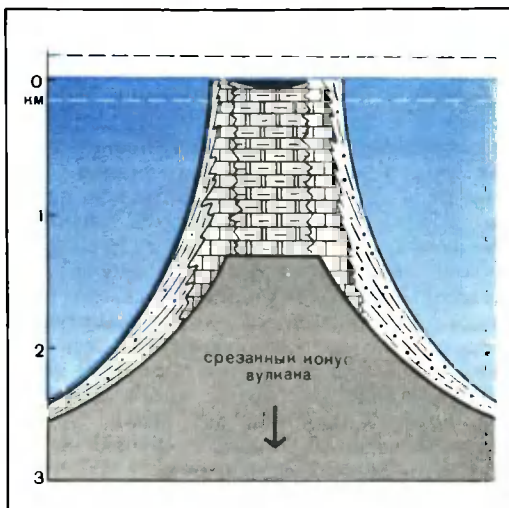
фундамент атоллов и коралловых островов слагают вулканические породы основного состава — различные базальтоиды океанического типа;

формирование рифовой постройки обусловлено медленным и длительным опусканием кровли вулканической постройки (именно такое погружение и создает благоприятные условия для существования рифообразующих организмов);






форма вулканической постройки, по данным геофизических исследований, в

большинстве случаев близка к чечевицеобразной, и форма нижней ее поверхности в общих чертах отражает рельеф верхней.

Но вплоть до настоящего времени остается неясным механизм медленного и длительного опускания кровли вулканической постройки. Сейчас совокупность данных бурения, драгировок, геофизических исследований и математического моделирования приводит к выводу, что опускание связано, скорее всего, с латеральным расползанием горных масс при их



Схематический разрез типичного кораллового рифа [горизонтальный и вертикальный масштабы соотносятся примерно как 1:10]. Стрелка показывает направление прогибания вулканического конуса, которое началось в палеогеновое время [по Р. Ферриджу].

-  Отложения современной лагуны
-  Рифовая брекчия
-  Пористый коралловый риф
-  Доломитизированные лагунные отложения
-  Размах колебаний уровня моря в плейстоцене

пластическом течении под действием веса растущей вулканической горы<sup>6</sup>.

Однако вопрос этот не может быть решен однозначно, так как невозможно

<sup>5</sup> Валаев Б. М. О вулканах, «утонувших» в океане.— Природа, 1971, № 7, с. 62.

<sup>6</sup> Красс М. С. Возможные причины опускания гайотов.— В кн.: Изостазия. М., 1973.

изучить историю формирования и преобразования вулканического фундамента, расположенного на значительной глубине и перекрытого океаническими осадками. Попытаемся подойти к решению этой проблемы, опираясь на данные, полученные при изучении океанического дна, и привлекая материалы по строению и истории формирования сходных структур геологического прошлого.

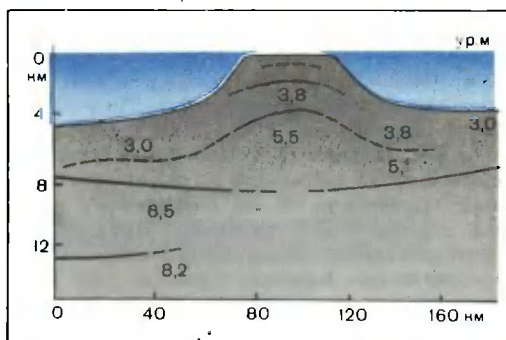
### МЕТОД «АНТИАКТУАЛИЗМА»

Верхняя оболочка Земли — земная кора — сформирована совокупностью магматических и тектонических процессов, процессов накопления осадков, структурно-вещественного преобразования горных пород и т. д. Все эти процессы действовали чрезвычайно долго — в течение многих десятков и сотен миллионов лет. Они-то и сформировали почти все породы и структуры, которые мы изучаем. Мы можем наблюдать только результат того или иного процесса, но не имеем возможности видеть реальный ход самого процесса. Задача геолога — по «мертвым» формам, по их совокупности и взаимосвязи раскрыть сущность процесса, который протекал на Земле много десятков или сотен миллионов лет назад. Задача эта не из легких и во многих случаях не может быть решена однозначно.

Именно в связи с этим в геологической науке сформировался принцип или метод актуализма, который впервые был применен английским геологом Ч. Лайлем, считавшим, что изучение современных природных процессов — ключ к познанию аналогичных процессов прошлого. Суть метода заключается в изучении современных геологических процессов и интерполяции их в прошлое. Проследив, скажем, за извержением современного вулкана и изучив состав его лавы, форму залегания изливавшихся из жерла вулканических пород, структуру вулканического пепла, мы можем затем найти в разрезе древних отложений сходные образования и сделать вывод, что здесь в геологическом прошлом происходило извержение вулкана, подобного современному. Но геологические процессы столь длительны, что не-только одной человеческой жизни, но и жизни многих поколений не хватит, чтобы проследить тот или иной процесс и посмотреть на его окончательный результат. Нужно иметь также в виду, что «геологический процесс... это всегда некоторая абстракция — отражение в сознании

исследователя длительного суммарного... действия многих — элементарных, частных по отношению к нему — природных процессов»<sup>7</sup>. На современном этапе в поле зрения исследователя попадают именно эти, частные по отношению к целому, природные процессы. И их изучение не в состоянии раскрыть всю сложность комплекса геологических процессов.

Возвращаясь к атоллам и гайотам, легко убедиться, что здесь мы имеем дело с конкретным природным явлением, сущность которого нам вроде бы ясна. На



Сейсмический профиль атолла Бикини. Отчетливо видна чечевицеобразная форма тела атолла и его слоистое строение. Цифрами обозначены скорости прохождения сейсмических волн (км/с) через породы разного состава.

океаническом дне растет вулкан, на его вершине образуется рифовая постройка определенной формы... Но на самом деле геологическое содержание этого процесса, отражающего совокупную эволюцию вулканической постройки и окружающих ее структур и горных пород, от нас скрыто. Как же поступить в подобном случае?

Можно поставить обратную задачу, а именно: попробовать понять процессы, идущие в настоящее время в земной коре, с помощью изучения древних геологических образований, в составе и структуре которых зашифрован ход геологической истории. Иными словами, попытаться применить обратный метод актуализма и историко-геологический метод. Такая попытка и была сделана нами при расшифровке механизма образования древних структур, сходных с современными атоллами, гайотами и коралловыми островами. Но прежде познакомимся с некото-

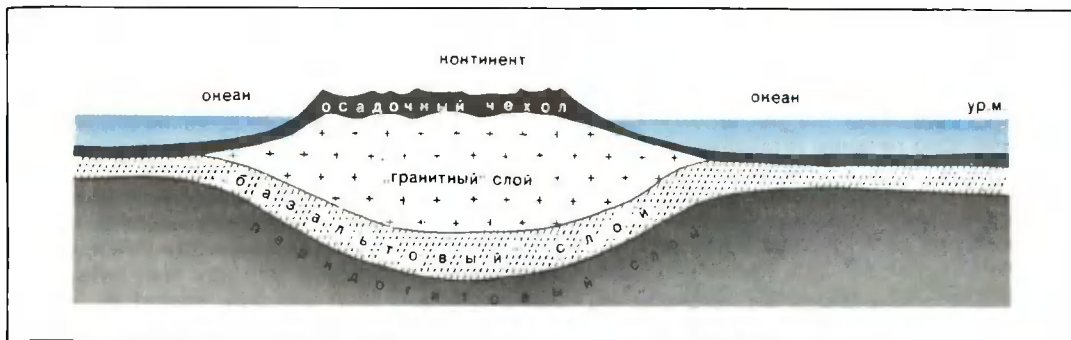
<sup>7</sup> Леонов Г. П. Историческая геология. М., 1980, с. 28.

рыми понятиями, которые будут нам необходимы.

### ГРАВИТАЦИЯ, ИЗОСТАЗИЯ, ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Изучение силы тяжести имеет существенное значение как для понимания внутреннего строения и состава Земли, так и для решения ряда проблем ее эволюции. Замеры величин силы тяжести и теоретические расчеты привели к выявлению двух фундаментальных положений:

гигантского сгущивания пород создают избыточную массу, сила тяжести должна быть больше, чем на равнине. Океанические же впадины, напротив, должны представлять собой участки с пониженными значениями силы тяжести, поскольку в океанах вместо тяжелых пород находится более легкая вода. Тем не менее гравиметрические измерения показали, что неровности рельефа не оказывают на силу тяжести того влияния, которое они должны были бы оказывать. Это явление впервые обнаружили английские геофизики



Схема, показывающая основные оболочки земной коры, имеющие различную плотность. Хорошо видно, что гранитно-метаморфический слой континентов как бы плавают на подстилающем его субстрате.

1. Земля в первом приближении состоит из сфероидальных оболочек, плотность которых увеличивается к центру.

2. Вещество Земли в отношении сил, действующих в масштабе геологического времени (десяtkи и сотни миллионов лет), ведет себя подобно жидкому телу.

Первое положение было подтверждено независимо сейсмическими методами исследований и прямыми наблюдениями в пределах верхних оболочек Земли (осадочной, метаморфической, «базальтовой»). Второй вывод остается в значительной мере теоретическим, но имеется совокупность наблюдений — и мы в этом убеждаемся, — подтверждающих этот вывод.

Замеры величин силы тяжести в разных районах показали, что на поверхности Земли она всюду примерно одинакова, как если бы Земля была идеальной сферой и не имела никаких структурно-вещественных неоднородностей. Но на самом деле мы видим материки и океаны, горные массивы и впадины. Теоретически в районах, где горные массивы за счет

Дж. Эри и Ф. Пратт, проводившие более ста лет тому назад измерения у подножья Гималаев. Оказалось, что это гигантское горное сооружение не дает ожидаемого избытка силы тяжести. Из этого следует, что относительно легкие горные породы, слагающие положительные формы рельефа (горы, плоскогорья), должны компенсироваться на глубине, т. е. в подстилающем более тяжелом слое, веществом меньшей, чем этот подстилающий слой, плотности. Под депрессиями же (например, под океаническими впадинами) на том же уровне должны залежать более тяжелые массы. Тогда по вертикали общая масса в любом месте Земли будет приблизительно одинакова, что и отражено в приблизительно одинаковых значениях силы тяжести.

Установленный гравиметрическими и геодезическими методами факт компенсации масс, слагающих рельеф, более легкими массами, залегающими на некоторой глубине под поверхностью Земли, привел к возникновению идеи о «корнях гор» и к гипотезе изостазии. Термин «изостазия» (от греч. *ισοστάσιος* — равный по весу) был введен в 1889 г. американским геологом Е. Даттоном. Впервые же изостатическая гипотеза была высказана еще Леонардо да Винчи, который пришел к ней задолго до проведения гравимет-

рических измерений, исходя из общих соображений о строении нашей планеты<sup>8</sup>.

Важным следствием явления изостазии служит тот факт, что для изостатического выравнивания необходимо, чтобы вещество Земли могло перетекать из одного места в другое, т. е. чтобы оно вело себя как вязкая жидкость. Способность твердого тела к медленной необратимой пластической деформации (к изменению формы) под влиянием длительно действующей нагрузки называется ползучестью. Накопление веществом необратимой пластической деформации приводит к тектоническому течению горных масс, которое запечатлевается в особенностях структуры горных пород. Это можно наблюдать непосредственно при полевых исследованиях или под микроскопом. Следы пластического течения установлены во многих районах земного шара, в породах самого различного возраста, начиная от наиболее древних — докембрийских (и здесь это явление заметно наиболее четко) — до очень молодых образований, имеющих возраст несколько десятков миллионов лет. Широкое распространение следов пластического течения горных пород находится в полном соответствии с теоретическими предпосылками и подтверждает вывод о том, что вещество Земли в масштабе геологического времени ведет себя как вязкая жидкость.

Изучение структур пластического течения позволяет установить историю формирования общей структуры того или иного района, выяснить ориентацию сил и напряжений, действовавших в период их образования, количественно оценить величину деформации. Пластическая деформация может осуществляться различными путями: при дифференциальном движении внутри кристаллической решетки минералов; посредством поворота зерен до того положения, при котором наиболее легко могут осуществляться скользящие плоскопараллельные движения внутри кристаллических решеток; вследствие анизотропии роста кристаллов в условиях одностороннего давления и т. д.

Пластическая деформация может захватывать огромные объемы горных масс. Геологически она выражается сланцеватостью, гофрировкой, разлинзованием пластов, удлинением минеральных зерен, формированием складок и тектонических покровов и пр. Пластическая деформация часто связана с метаморфизмом горных пород, особенно в условиях действия одностороннего давления (стресса), которое может быть вызвано гравитационной неустойчивостью масс горных пород. Но вернемся к основной теме нашего исследования.

## ПОДВОДНЫЕ ГОРЫ ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ











Название главы может удивить неподготовленного читателя: о каких подводных горах может идти речь в высокогорном районе, расположенном в центре Азиатского континента? Тем не менее изучение горных пород этого района давно привело геологов к твердому убеждению, что в палеозойскую эру (в интервале от 600 до 250 млн лет назад) на месте горных хребтов Южного Тянь-Шаня существовали достаточно обширные и глубокие морские бассейны, которые в результате длительной структурно-вещественной эволюции земной коры превратились в горные континентальные массивы. Более того, многие геологи в настоящее время пришли к выводу, что территория Южного Тянь-Шаня в ту отдаленную эпоху представляла собой пространство, занятое древним океаном (его называют Туркестанским океаном). Этот вывод сделан на основании сравнения комплексов пород так называемой офиолитовой ассоциации с образованиями, слагающими кору современных океанов.

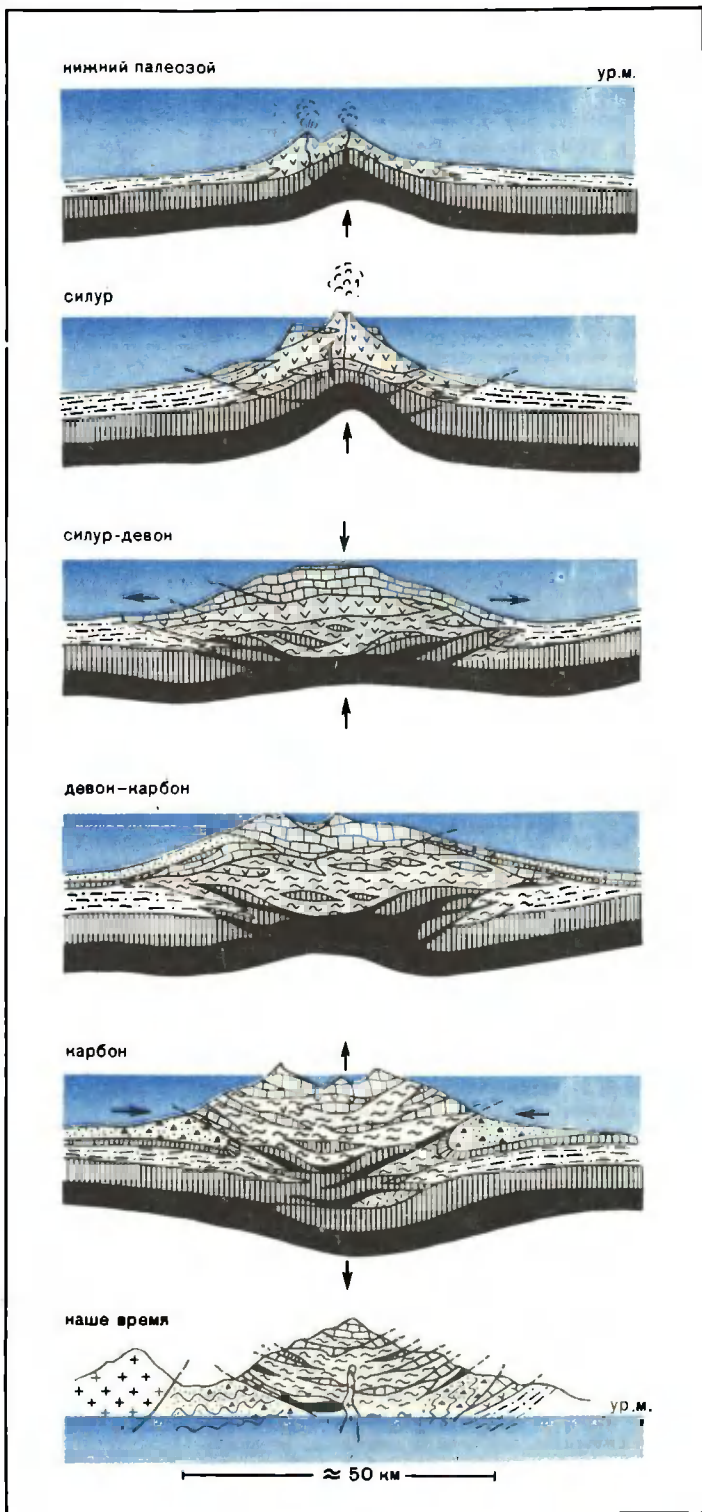
Офиолитовая ассоциация — это комплекс пород, развитый во многих складчатых зонах континентов и имеющий трехчленное строение. Нижние горизонты разреза офиолитовой ассоциации представлены ультраосновными породами. Средняя часть разреза сложена магматическими породами (в основном базальтами и габбро), которые перекрываются глубоководными кремнисто-карбонатными и глинистыми осадками верхней трети разреза. В настоящее время разрез офиолитовой ассоциации складчатых зон континентов считается сходным с разрезом коры современных океанов. Геофизические исследования в совокупности с данными глубоководного бурения позволяют разделить океаническую кору на три характер-

<sup>8</sup> Надо сказать, что принцип изостазии осуществляется далеко не повсеместно. Известны районы, где наблюдаются резкие отклонения от изостатического равновесия, так называемые изостатические аномалии. Их существование вызвано различными причинами: например, активными тектоническими процессами, нарушающими равновесие, или не закончившимся процессом изостатического выравнивания.

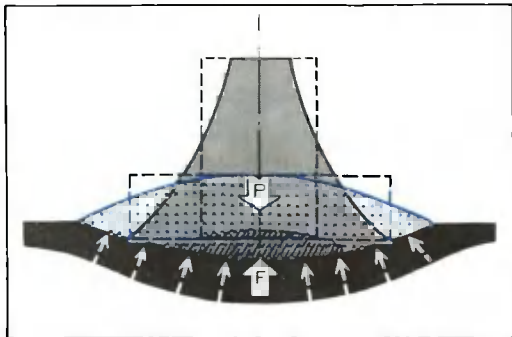


Эволюция вулканического сооружения, сформировавшегося на дне древнего палеозойского океана. Стрелки показывают направления перемещения горных масс.

-  Ультрабазиты
-  Второй и третий слои океанической коры
-  Основные вулканиты
-  Метаморфические сланцы
-  Кремнисто-глинисто-карбонатные отложения
-  Рифовые известняки
-  Кремни
-  Флиш
-  Зоны переплавления пород
-  Граниты



ных слоя. Верхний слой (слой 1) сложен осадочными породами и сопоставим с верхним осадочным слоем офиолитовой ассоциации. Ниже располагаются слои 2 и 3. Слой 2, по данным бурения, представлен подводными базальтами. Слой 3 сложен, вероятно, их интрузивными аналогами — габбро. Эти два слоя океанической коры сопоставимы со слоем вулканических пород офиолитового комплекса. Ниже слоя 3 океанической коры, как полагает большинство исследователей, находится анизотропная мантия, сложенная



Изменение формы вулканического сооружения под действием веса горных пород (P) и выталкивающей архимедовой силы (F). Заштрихована область наибольших (в вертикальном направлении) сжимающих усилий. Изменение формы вулкана связано с комплексом структурно-вещественных преобразований горных пород и их пластическим течением.

перидотитами. В разрезе офиолитовой ассоциации породам мантийного уровня соответствует комплекс ультраосновных пород, среди которых большое место принадлежит перидотитам. Таким образом, сравнение разрезов офиолитовой ассоциации и коры современных океанов позволяет сделать вполне обоснованный вывод, что в пределах Южного Тянь-Шаня существовал древний океанический бассейн<sup>9</sup>.

Так вот, в пределах этого древнего океана удалось обнаружить структуры, необычайно близкие современным атоллам и коралловым островам. И не только обнаружить, но и расшифровать геологическую историю их развития. В данной статье нет ни возможности, ни необходимости описывать фактический материал

и логическую последовательность его интерпретации. Здесь я остановлюсь только на вопросах общей эволюции интересующих нас морфоструктур и на тех ключевых моментах, которые делают правомочным проведение параллели между современными океаническими образованиями и их древними аналогами.

Итак, в пределах древнего океана, кора которого сходна с корой современных океанов (на что указывает петрохимический состав вулканитов и присутствие ультрабазитов и габброидов), начинается рост вулканической постройки. О возникновении вулканического аппарата, приподнятого над общим уровнем океанического дна, свидетельствует однородность вулканических и соседних с ними осадочных толщ, а также наличие отложений, сформировавшихся в результате размыва и оползания пород, слагающих положительные формы рельефа. Когда вершина вулканической постройки «дорастает» до поверхности океана и прекращается вулканическая деятельность, начинается образование отдельных банок рифовых (коралловых и брахиоподовых) известняков. Их появление фиксирует не только прекращение вулканической деятельности, но и начало продолжительного (длящегося около 80 млн лет) и равномерного опускания кровли вулканической горы, которое ведет к накоплению более чем двухкилометровой толщи преимущественно рифовых карбонатных отложений. И здесь мы сталкиваемся с тем же вопросом, что и при изучении современных атоллов и гайотов. Непонятно, чем вызвано такое длительное и, по всей вероятности, непрерывное опускание кровли вулканической постройки? Ответ на него удалось получить, исследовав особенности структурно-вещественных преобразований вулканического фундамента и окружающих его пород. В этих преобразованиях заложена информация о тех процессах, которые привели, в конечном счете, к опусканию кровли отмершего вулкана и сделали возможным длительное существование рифообразующих организмов. Эти же преобразования показывают, что опускание связано с пластическим «расползанием» горных масс в условиях их гравитационной неустойчивости.

Рост вулкана начался, вероятно, над мантийным диапиром (выступом пород мантии), о чем свидетельствуют как наличие пород офиолитовой ассоциации, так и вещественные преобразования вулканитов, которые невозможны без повышен-

<sup>9</sup> При всем сходстве древних океанов с современными они имели, вероятно, и некоторые отличия. Иными могли быть глубина и тип накопления осадков, безусловно, иной была конфигурация бассейнов.

ного теплового потока. Исходные породы — в основном базальты — подвергаются вначале только вещественным изменениям, которые обусловлены существующими здесь температурой и давлением. Но вулканическая постройка продолжает расти, и масса ее увеличивается. Под действием вертикально направленных сил, обусловленных, с одной стороны, весом горного сооружения, и с другой — выталкивающей архимедовой силой (ее существование вытекает из принципа изостазии), происходит структурная перестройка пород, связанная с их пластическим течением.

В результате пластического течения, механизм которого мы вкратце рассмотрели выше, основание вулкана как бы медленно расползается. А поскольку изменения структуры и состава зависят от градиента температур и давлений и в разных породах проявляются неодинаково, то наступает тектоническое расслоение массива, сопровождающееся значительным перемещением горных масс в горизонтальном направлении. Замеры величин деформации горных пород показывают, что удлинение геологических тел в горизонтальном направлении может достигать 200—300, а местами и 1000 %. Там, где одни горизонты проскальзывают по другим, возникают зоны повышенного расщепления, образуются участки раздробленных и перемешанных друг с другом различных пород — тектонические брекчии, меланжи.

«Расползание» горного массива приводит к медленному опусканию его кровли и постепенному наращиванию рифовой постройки. Рифовые известняки и доломиты под действием веса вышележащих пород и общих напряжений растяжения, вызванных расползанием массива, также испытывают пластическое течение. При погружении карбонатные породы в результате пластической деформации «перетекают» в более глубокие части бассейна и перекрываются там глубоководными осадками. В центре же постройки продолжает формироваться риф.

Таким образом, сравнивая атоллы современных океанов с древними вулканическими горами Туркестанского океана, мы видим поразительное сходство между ними: сходен тип вулканизма; в том и другом случае растет подводное горное сооружение, которое в определенный момент начинает проседать; проседание ведет к формированию рифов; продолжительность образования рифовых толщ в обоих

случаях сопоставима (наиболее старые рифовые постройки Тихого океана, так же как и рифы древнего Туркестанского океана, сформировались примерно за 80—100 млн лет).

И мы можем с большой долей уверенности утверждать, что опускание современных подводных гор (так же как и древних) связано с пластическим течением горных масс в условиях их гравитационной неустойчивости. К такому же выводу, как мы уже отмечали, приходят ученые и на основании математического моделирования процесса эволюции современных атоллов и гайотов, связанной с изостатическим выравниванием<sup>10</sup>.

Таково возможное решение проблемы, которая была поставлена более 150 лет назад Дарвином. Именно он, по существу, сложил все здание наших представлений о возникновении атоллов и коралловых островов. Но понадобилось полтора столетия, чтобы найти и положить в это здание последний кирпичик. Да и последний ли? Ведь приведенные здесь построения выполнены на основе историко-геологического метода, никому пока не удалось заглянуть в те глубинные части горных недр, где должны происходить описанные процессы — это задача будущего! Пока же все изложенное — гипотеза, которая наиболее полно отвечает сумме современных знаний о геологии этих экзотических образований.

Итак, мы сделали еще одну попытку разгадать загадку коралловых островов. Насколько эта попытка удалась, покажет будущее. Но читатель вправе спросить: «А что же дальше? Ведь было обещано, что понимание механизма формирования атоллов, гайотов и коралловых островов приведет к пониманию каких-то новых, более общих закономерностей становления и развития земной коры». Да, действительно, решение проблемы зарождения и развития этих, казалось бы, частных морфоструктурных элементов земной коры позволяет нам во многом по-новому рассматривать вопрос о зарождении метаморфического слоя, ныне слагающего континенты, проследить начальные этапы преобразования коры океанического типа в кору континентального типа, решить некоторые проблемы, связанные с размещением полезных ископаемых и т. д. Но все это — предмет специального исследования, и чтобы о нем рассказать, нужно написать еще одну статью.

<sup>10</sup> Красс М. С. Цит. соч.

Спектроскопия  $\Upsilon$ -мезонов

**М. В. Данилов,**

кандидат физико-математических наук

**Ю. М. Зайцев,**

кандидат физико-математических наук

Институт теоретической и экспериментальной физики  
Москва

В настоящее время считается установленным, что  $\Upsilon$ -мезоны являются различными связанными состояниями «прелестного» кварка  $b$  и его антикварка  $\bar{b}$ . Система  $b\bar{b}$  напоминает атом водорода, только кварки связаны в ней не электромагнитным, а сильным взаимодействием. Поэтому для энергетических уровней такой системы (иными словами, для членов семейства  $\Upsilon$ -мезонов) часто применяются такие же обозначения, как в атомной физике:  $(n+1)^{2S+1}L_J$ , где  $n$  — радиальное квантовое число,  $S$  — суммарный спин кварков,  $J$  — полный угловой момент, а  $L$  — орбитальный угловой момент относительного движения кварков (он обозначается не цифрами, а буквами  $S, P, D...$ ). Так,  $\Upsilon'$ -мезон является  $2^3S_1$ -уровнем системы  $b\bar{b}$ , т. е. первым радиальным возбуждением со спином и полным угловым моментом, равными 1, и с орбитальным угловым моментом, равным 0. Прелестные кварки обладают большой массой (около 5 протонных масс) и, следовательно, движутся внутри  $\Upsilon$ -мезона с относительно небольшой (для физики элементарных частиц) скоростью — порядка  $1/3$  скорости света. Благодаря этому для описания свойств  $\Upsilon$ -частиц можно, по крайней мере в первом приближении, использовать так называемый нерелятивистский потенциальный подход, знакомый из курса атомной физики. Это значительно упрощает задачу.

Согласно современным представлениям, сильное взаи-

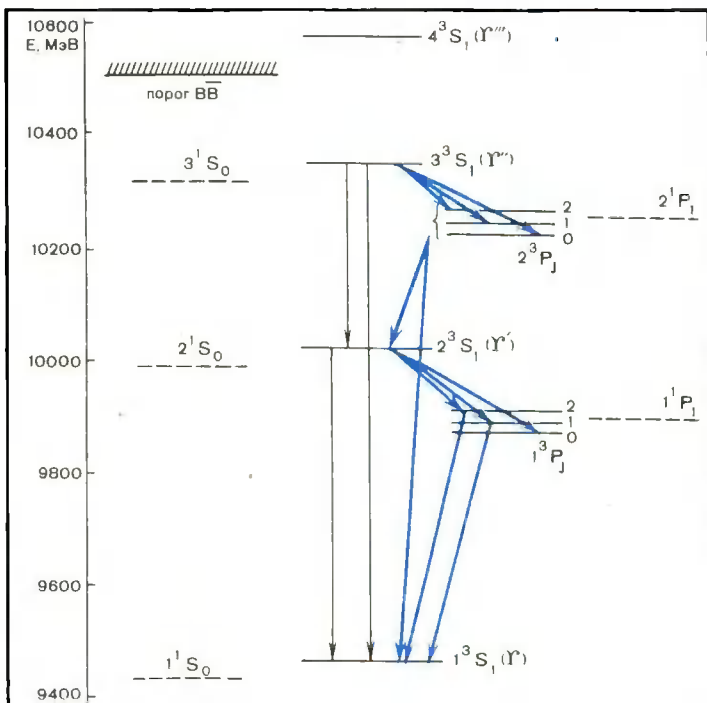


Схема S- и P-уровневой системы, состоящей из прелестного кварка  $b$  и его антикварка  $\bar{b}$ . Сплошные линии соответствуют состояниям, обнаруженным экспериментально, пунктирные — предсказываемым теорией. Стрелками указаны наблюдаемые переходы между уровнями: цветными стрелками — радиационные переходы, черными — адронные. Уровень, соответствующий  $\Upsilon''$ -мезону, находится выше порога рождения  $B$ -мезонов, состоящих из прелестного кварка  $b$  и одного из легких кварков ( $u, d$  или  $s$ ). Поэтому  $\Upsilon''$  почти всегда распадается на пару  $B\bar{B}$ .

действие не зависит от «аромата» (сорта) кварков. Поэтому и свойства кварк-антикварковых пар, составленных из прелестных кварков  $b$  и  $\bar{b}$  и очарованных кварков  $c$  и  $\bar{c}$ , оказываются похожими<sup>1</sup>. Нали-

чие четких, часто безмодельных теоретических предсказаний, возможность использования полученных данных для критической проверки и развития современной теории сильного взаимодействия (квантовой хромодинамики) определяют интерес к исследованию семейства  $\Upsilon$ -частиц.

$\Upsilon$ -мезоны были открыты в адронных взаимодействиях — на протонном ускорителе Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми в Батавии (США). Однако их свойства исследовались, в основном, на встречных  $e^+e^-$ -пуч-

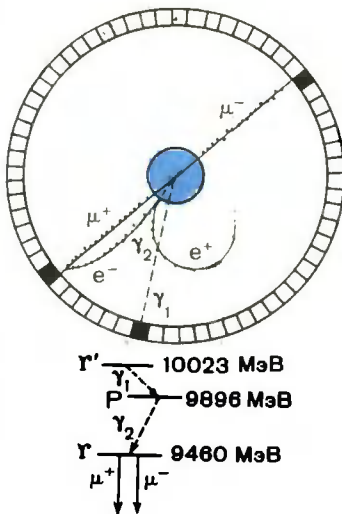
ного кварка  $c$  и его антикварка  $\bar{c}$  — и важность его изучения для теории сильного взаимодействия подробно обсуждалась в статье: Волошин и М. Б. Спектр чармония и взаимодействие кварков. — Природа, 1979, № 1, с. 54.

<sup>1</sup> Спектр чармония — система, состоящая из очарован-

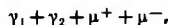
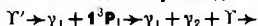
как<sup>2</sup>, где в области энергий, соответствующей значениям масс  $\Upsilon$ -частиц, сейчас работают 5 больших экспериментальных установок: МД-1 в Новосибирске, CLEO и CUSB в Корнеллском университете (США), ARGUS и «Crystall Ball» (сокращенно СВ) в научно-исследовательском центре DESY (Гамбург, ФРГ). Детектор ARGUS создавался и используется международной группой, в состав которой входят и специалисты из Института теоретической и экспериментальной физики (Москва). На этих установках работает сейчас более 250 физиков.

В 1983 г. на международных конференциях в Брайтоне (Англия) и Корнеллском университете (США) было представлено много новых результатов по исследованиям  $\Upsilon$ -мезонов. В Институте ядерной физики СО АН СССР разработана элегантная методика, с помощью которой удалось провести прецизионные измерения масс частиц  $\Upsilon$ ,  $\Upsilon'$  и  $\Upsilon''$ :  $(9460,6 \pm 0,4)$  МэВ,  $(10023,8 \pm \pm 0,5)$  МэВ и  $(10355,5 \pm 0,5)$  МэВ соответственно<sup>3</sup>. Эксперименты по определению масс  $\Upsilon$  и  $\Upsilon'$  были выполнены также в Корнеллском университете и в DESY. Четыре группы (CUSB, CLEO, ARGUS и СВ) объявили о наблюдении в радиационных распадах (т. е. распадах, сопровождающихся излучением  $\gamma$ -кванта) основных Р-уровней  $\Upsilon$ -семейства. Таким образом, общее число обнаруженных уровней bb-системы уже достигло 10, причем открыты все уровни, которые считались легко достижимыми.

Напомним, что  $\Upsilon$ -мезоны ( $^3S_1$ -состояния системы bb) имеют такие же квантовые числа, что и фотон  $J^{PC}=1^{--}$ . Они рождаются прямо в  $e^+e^-$ -ан-



Восстановленная с помощью ЭВМ картина каскадного распада



зарегистрированного на установке ARGUS. Показаны проекции траекторий частиц на плоскость, перпендикулярную оси камеры и направлению магнитного поля.  $\Upsilon'$ -мезон рождается в центре установки — в вакуумной камере. Частицы, возникшие при его распаде, попадают сначала в дрейфовую камеру (длиной 2 м, внешний радиус 90 см). Заряженные частицы ионизируют газ в дрейфовой камере, а образовавшиеся в результате этого электроны собираются на сигнальные проволочки, которые тоньше человеческого волоса. Время дрейфа электронов, измеряемое с точностью  $10^{-9}$  с, позволяет определить расстояние от трека частицы до проволочки с неопределенностью 0,18 мм. Всего в дрейфовой камере 5940 сигнальных проволочек, образующих 36 слоев вдоль радиуса. За дрейфовой камерой располагаются сцинтилляционные счетчики [схематически изображенные в виде прямоугольников, окружающих дрейфовую камеру]. С их помощью измеряется энергия  $\gamma$ -квантов, излученных в процессе распада  $\Upsilon'$ -мезона. В данном событии второй  $\gamma$ -квант превратился в  $e^+e^-$ -пару. Его энергия определяется с наименьшей точностью по измерению импульсов электрона и позитрона в дрейфовой камере. Это позволяет даже по одному событию установить массу состояния, через которое происходил распад  $\Upsilon'$ -мезона:  $(9896 \pm 7)$  МэВ. Схематическое изображение каскадного перехода дано на рисунке внизу.

нигиляции, а относительная вероятность радиационных переходов с уровнем  $^3S_1$  на уровни  $^3P_1$  оказывается довольно большой (3—15%). Синглетные (с суммарным спином, равным 0) S- и P-уровни обнаружить намного труднее. Вероятность радиационных переходов с  $^3S_1$  на  $^1S_0$ , согласно теоретическим оценкам, не превышает 0,02%. Не лучше перспективы и для наблюдения состояний  $^1P_1$ . Радиационный переход на них с  $^3S_1$ -уровней запрещен из-за сохранения зарядовой четности. Кроме того, в семействе  $\Upsilon$ -частиц могут происходить не только радиационные, но и адронные переходы. В 1983 г. были получены новые данные по распаду  $\Upsilon' \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Upsilon$ , позволяющие проанализировать динамику этой реакции.

Изследование реакций с испусканием мягких  $\gamma$ -квантов настолько интересно, что два детектора — CUSB и СВ — специально нацелены на изучение именно этих процессов. Они имеют высокую эффективность регистрации и очень хорошее разрешение по энергии  $\gamma$ -квантов: около 4—6% при энергии порядка 100 МэВ. Это достигается благодаря использованию сцинтилляционных счетчиков на основе кристаллов NaI(Tl). На установках CUSB и СВ магнитное поле не применяется, поэтому они не могут служить для определения импульсов заряженных частиц (за исключением электронов, энергия которых измеряется в сцинтилляционных счетчиках). Удастся определить лишь направление движения этих частиц с помощью компактных проволочных камер. Тем не менее с помощью закона сохранения энергии-импульса можно полностью восстановить реакции с небольшим числом заряженных частиц в конечном состоянии.

Детекторы  $\gamma$ -квантов в установках ARGUS и CLEO имеют не столь хорошее разрешение по энергии. Однако на них можно с высокой точностью измерять импульсы заряженных частиц. Это позволяет достигнуть для  $\gamma$ -квантов, конвертировавшихся в  $e^+e^-$ -пару, разрешения, сравнимого и даже лучшего, чем в специализиро-

<sup>2</sup> Об открытии и исследованиях  $\Upsilon$ -семейства см.: Природа, 1978, № 1, с. 137; 1979, № 2, с. 105; 1980, № 8, с. 107; 1981, № 3, с. 108; 1982, № 2, с. 111, 1983, № 9, с. 109; № 10; с. 105; № 11, с. 105.

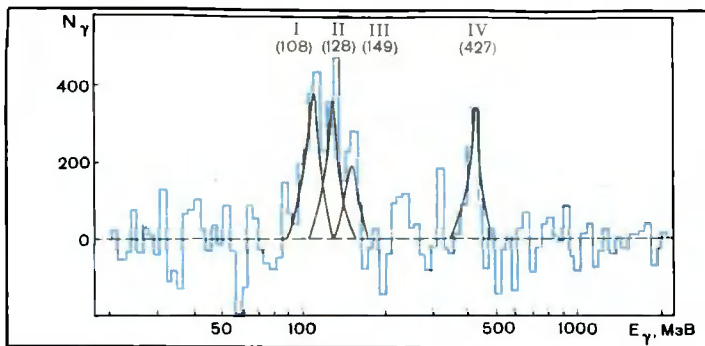
<sup>3</sup> Артамонов А. С. и др. Препринт Института ядерной физики СО АН СССР, 83-84. Новосибирск, 1983.

ванных детекторах: 1 % (ARGUS) и 4 % (CLEO). Правда, расплатой за это служит низкая эффективность регистрации, определяемая малой вероятностью конверсии и сложностью восстановления треков образовавшихся электронов и позитронов: траектории этих частиц сильно искривлены магнитным полем.

Существует два способа наблюдения  ${}^3P_J$ -уровней. Первый из них основан на регистрации монохроматических  $\gamma$ -квантов от распадов  ${}^3S_1 \rightarrow \gamma + {}^3P_J$  и  ${}^3P_J \rightarrow \gamma + {}^3S_1$ . Основной недостаток этого метода — большой фон от распада нейтральных пионов. Другим способом является одновременное наблюдение двух  $\gamma$ -квантов каскадного перехода, например

$$\Upsilon' \rightarrow \gamma_1 + 1^3P_J \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2 + \Upsilon.$$

В этом случае для подавления фона приходится требовать, чтобы конечный  $\Upsilon$ -мезон распался на пару лептонов. В результате относительная вероятность такого процесса оказывается малой, особенно для  ${}^3P_0$ -уровня, у которого парциальная ширина распада в адроны сравнительно велика. Оба способа были использованы для поиска  $1^3P_J$ -состояний и дали близкие результаты. При энергиях (108,2 ± 0,3 ± 2), (128,1 ± 0,4 ± 3) и (149,4 ± 0,7 ± 5) МэВ в спектре  $\gamma$ -квантов от распадов  $\Upsilon'$  наблюдались пики с шириной, равной экспериментальному разрешению (в значениях энергии первыми указаны статистические ошибки — вторыми систематические<sup>4</sup>). Поскольку  $\Upsilon'$  находится в покое, энергия  $\gamma$ -квантов практически совпадает с разностью масс S- и P-уровней, что позволяет определить массу этих состояний. По числу событий в пиках были определены относительные вероятности изучаемых распадов: (6,1 ±



Спектр  $\gamma$ -квантов от распада  $\Upsilon'$ -мезона после вычитания фона [данные группы CUSB]. Пики I, II, III интерпретируются как проявления распадов  $\Upsilon' \rightarrow \gamma + {}^3P_J$ , где  $J=2, 1, 0$ . Пик IV может быть объяснен радиационными переходами из состояний  $1^3P_2$  и  $1^3P_1$  в  $\Upsilon$ -мезон. Разность энергий  $\gamma$ -квантов, излучаемых в этих двух переходах, сравнима с экспериментальным разрешением, поэтому на рисунке виден только один пик. В скобках приведены положения максимумов.

±1,4), (5,9 ± 1,4) и (3,5 ± 1,4) %. Переходы  ${}^3S_1 \rightarrow \gamma + {}^3P_J$  являются электрическими дипольными: их вероятности должны быть пропорциональны  $\omega^3(2J+1)$ , где  $\omega$  — энергия  $\gamma$ -кванта, излучаемого в переходе, а  $J$  — полный угловой момент конечного P-уровня. Это соотношение выполняется наилучшим образом, если считать, что для уровня с наибольшей массой полный угловой момент  $J=2$ , а для самого легкого  $J=0$ . (Прямых данных о значениях спина новых состояний, которые можно получить, изучая угловое распределение  $\gamma$ -квантов в каскадных переходах, пока еще нет.) В спектре  $\gamma$ -квантов от распада  $\Upsilon'$  заметен еще один пик — при энергии 427 МэВ. Положение и ширина этого пика согласуются с предположением, что он представляет собой наложение двух линий с энергиями, соответствующими вторым  $\gamma$ -квантам в каскадных распадах. Однако разрешение по энергии в этой области равно расстоянию между ожидаемым положением максимумов. Поэтому отдельные линии не разделяются и, более того, пик можно описать одной из них.

Больше сведений о радиационных распадах триплетта  $1^3P_J$ -уровней ( $J=0, 1, 2$ ) можно получить, изучая реакцию каскадного перехода:

$$\Upsilon' \rightarrow \gamma_1 + 1^3P_J \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2 + \Upsilon \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2 + e^+ + e^-.$$

В этом случае более точное измерение энергии мягкого (первого)  $\gamma$ -кванта позволяет разделить переходы через  ${}^3P_2$ - и  ${}^3P_1$ -уровни. (Как и ожидалось, из-за малой относительной вероятности распад  $1^3P_0 \rightarrow \gamma + \Upsilon$  не был обнаружен.) Сравнение числа радиационных распадов на основных P-уровнях и каскадных переходов позволило определить относительные вероятности распадов  $1^3P_{2,1} \rightarrow \gamma + \Upsilon$ , которые оказались равными (18,1 ± 4,2) и (45 ± 10) %.

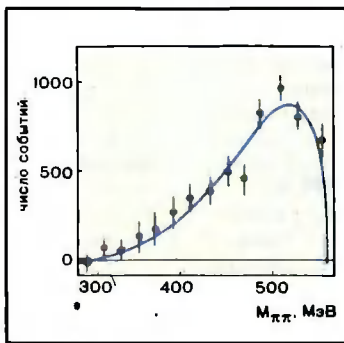
Скорости кварков в частицах  $1/\psi$  и  $\Upsilon$  невелики, и можно попытаться описать их свойства с помощью статического потенциала. Однако выбор формы потенциала взаимодействия, связывающего кварки, неоднозначен. Известно, что на малых расстояниях взаимодействие похоже на кулоновское, только, в отличие от квантовой электродинамики, его «константа» (величина, характеризующая интенсивность взаимодействия) падает с уменьшением расстояния. В то же время, для того чтобы описать наблюдаемое явление «невыветания» кварков из адронов, потенциал на больших расстояниях должен расти. В промежуточной области, которая значительно влияет на спектр систем  $c\bar{c}$  и  $b\bar{b}$ , потенциал подбирается чисто феноменологически. Такой подход

<sup>4</sup> Для радиационных переходов мы приводим данные группы CUSB (Phys. Rev. Lett., 1983, v. 51, p. 160), которая исследовала их наиболее полно. Результаты остальных групп, пока еще предварительные, совпадают с данными CUSB в пределах ошибок.

оказался весьма плодотворным для описания свойств чармония ( $c\bar{c}$ ) и семейства  $\Upsilon$ -частиц ( $b\bar{b}$ ); с его помощью удалось рассчитать положение всех основных уровней этих систем. В частности, для центра тяжести  $1P$ -триплета<sup>5</sup> предсказывались значения в интервале (9860—9940) МэВ, что согласуется с экспериментально полученным значением  $(9900 \pm 3)$  МэВ.

Тонкое расщепление  $P$ -уровней дает информацию о спиновой зависимости взаимодействия. По аналогии с квантовой электродинамикой, можно было бы ожидать, что оно пропорционально  $v^2/c^2$ , где  $v$  — скорость кварка. И действительно, отношение разности масс  $1^3P_2-$  и  $1^3P_0$ -уровней систем  $b\bar{b}$  и  $c\bar{c}$ , равное  $41/140 \approx 0,29$ , совпадает с  $(v_b/v_c)^2 = 1/3$ . Детальные расчеты в потенциальных моделях дают для тонкого расщепления  $1P$ -уровней значения в интервале от 35 до 70 МэВ.

Хорошо согласуются с экспериментом предсказания, основанные на нерелятивистских правилах сумм<sup>6</sup> и потенциальных моделях, для вероятностей радиационных переходов  $\Upsilon \rightarrow \gamma + ^3P_J$  и  $^3P_J \rightarrow \gamma + \Upsilon$ . Необходимая для их определения полная ширина  $\Upsilon$ -мезона измерена, а для полных ширин  $^3P_J$ -уровней берутся теоретические оценки. Все изученные характеристики новых состояний согласуются с предположением, что они представляют



Распределение по массе системы двух пионов в распаде  $\Upsilon \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Upsilon$ , полученное в эксперименте группы ARGUS. Сплошная кривая — предсказание, основанное на квантовой хромодинамике.

собой триплет основных  $P$ -уровней системы  $b\bar{b}$ , причем полный угловой момент увеличивается с ростом массы уровня.

Согласно современным представлениям, распад  $\Upsilon \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Upsilon$  происходит в два этапа. Сначала кварки, находящиеся на малых расстояниях, испускают глюоны — переносчики сильного взаимодействия. Затем на больших расстояниях глюоны превращаются в пару пионов. Характеристики процесса, происходящего на первом этапе, определяются размерами кварк-антикварковой системы и могут быть оценены на основе данных для аналогичного перехода в чармонии, что фиксирует полную вероятность распада. То, что происходит на втором этапе, удается строго рассчитать в рамках квантовой хромодинамики и предсказать, например, распределение по массе системы двух пионов, которое резко отличается от случая, когда все определяется только кинематикой процесса. Новые экспериментальные данные подтвердили эти предсказания. Согласуется с теоретическим предсказанием и относительная вероятность распада  $\Upsilon \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Upsilon$ , равная  $(17,9 \pm 0,9 \pm 2,1) \%$  (данные получены груп-

пой ARGUS). Теоретическая оценка парциальной ширины этого распада очень чувствительна к спину глюона. Она была бы примерно в 10 раз больше, если бы спин глюона равнялся 0, а не 1. Интерес к этому распаду обуславливается еще и тем, что распределение по массе системы двух глюонов в аналогичном распаде  $\Upsilon'' \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \Upsilon$  резко отличается от предсказываемого квантовой хромодинамикой. Вера в надежность предсказания столь велика, что для объяснения расхождения выдвигаются такие нетривиальные гипотезы, как существование вблизи  $\Upsilon''$  экзотического четырехкваркового резонанса  $X$ , состоящего из кварков  $b$  и  $\bar{b}$  и еще одной легкой кварк-антикварковой пары. Тогда распад происходил бы поэтапно:



и форма распределения была бы иной. Однако, число зарегистрированных событий этого распада пока еще не превышает нескольких десятков, и для разрешения проблемы требуются новые экспериментальные исследования.

Общий вид спектра  $b\bar{b}$ -системы прекрасно согласуется с современными представлениями о сильном взаимодействии. Само существование такого количества связанных состояний требует взаимодействия, растущего на больших расстояниях. Имеется и хорошее количественное согласие с теоретическими расчетами. Нерелятивистское движение кварков в частицах  $\Upsilon$ -семейства и, как результат, подобие с обычными атомами, позволяет сделать для этих частиц целый ряд предсказаний, основанных только на фундаментальных принципах теории. Это относится не только к спектру, но и к другим свойствам  $\Upsilon$ -частиц.

Изучение  $\Upsilon$ -мезонов началось совсем недавно. Обилие полученных результатов наглядно демонстрирует интерес физиков к этим частицам. Нет сомнения, что на этом пути нас ждет еще много интересной информации о свойствах уже достаточно многочисленного  $\Upsilon$ -семейства.

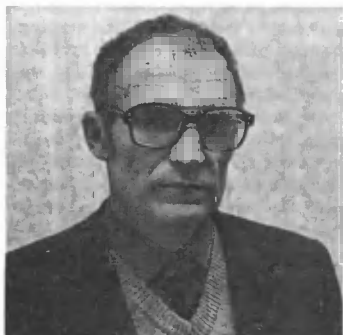
<sup>5</sup> Без учета спина три уровня  $^3P_J$  ( $J=0,1,2$ ) вырождены — имеют одинаковую массу. «Включение» спина приводит к тонкому расщеплению — небольшому изменению их масс, зависящему от полного углового момента  $J$ . Для сравнения с предсказаниями моделей, не учитывающих спиновой зависимости взаимодействия, используется среднее значение массы  $P$ -уровней — так называемый центр тяжести, равный  $1/9 \sum_{J=0}^2 (2J+1)M_J$ ,

где  $M_J$  — масса уровня.

<sup>6</sup> О подходе, основанном на правиле сумм, подробнее см.: Волошин М. Б. Спектр чармония и взаимодействие кварков. — Природа, 1979, № 1, с. 54.

## Мощная излучающая плазма

В. Б. Розанов, А. А. Рухадзе



Владислав Борисович Розанов, доктор физико-математических наук, профессор Московского инженерно-физического института, заведующий сектором теории лазерной плазмы Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Физик-теоретик, специалист в области высокотемпературной газовой динамики и лазерной плазмы. Один из авторов монографии: Сильноточные разряды и газовые лазеры с оптической накачкой. М., 1978. Неоднократно публиковался в «Природе». Лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР (1981).



Анри Амвросиевич Рухадзе, доктор физико-математических наук, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, заведующий сектором плазменной электродинамики Института общей физики АН СССР. Автор шести монографий, в том числе: Электромагнитные свойства плазмы и плазмоподобных сред (совместно с В. П. Силиным). М., 1961; Волны в магнитоактивной плазме (совместно с В. Л. Гинзбургом). М., 1970 и 1975 и др. Лауреат Государственной премии СССР (1981).

Одним из наиболее распространенных методов накачки лазеров является оптическая накачка, суть которой заключается в облучении активной среды светом широкого спектра, обычно некогерентным и создаваемым тепловым источником (т. е. нагретым до высокой температуры ионизованным газом). Энергия этого излучения запасается в активной лазерной среде в виде возбуждения ее атомов и молекул, а затем когерентно излучается в узкой спектральной полосе в течение регулируемого промежутка времени. Так работают рубиновые и неодимовые лазеры (самые распространенные в лабораторных исследованиях), мощные лазеры на основе диссоциирующих или ионизирующих под воздействием света газов, лазеры на раст-

ворах сложных органических соединений (красителей) и многие другие.

Чем мощнее оптическая накачка, тем мощнее и разнообразнее могут быть сами лазеры, поскольку в качестве активной среды можно использовать более широкий класс веществ. Мощные источники оптического излучения необходимы также для исследования фотохимических процессов, взаимодействия излучения с веществом, моделирования процессов в космической плазме, изучения физики взрыва, ударных и тепловых волн и во многих других задачах.

В середине 60-х годов по инициативе Н. Г. Басова мощные источники оптического излучения стали планомерно исследоваться в нескольких крупнейших научных



учреждениях нашей страны, в том числе в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР, Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова, Московском высшем техническом училище им. Н. Э. Баумана и других. Это был пример целевого объединения усилий многих институтов для решения крупной научно-технической проблемы<sup>1</sup>.

Физически задача создания подобных источников излучения представлялась весьма сложной, так как по сравнению с существующими в то время источниками нужно было увеличить интенсивность их излучения в заданном диапазоне спектра в сотни и тысячи раз, сохранить или даже увеличив их эффективность (т. е. отношение полезной доли излучения к полному излучению), продвинуться в коротковолновую область спектра, захватив область ультрафиолета и даже вакуумного ультрафиолета, увеличить излучаемую энергию также в сотни и тысячи раз.

Источником излучения с такими экстремальными параметрами могла бы служить высокотемпературная плазма, рожденная в мощных сильноточных самосжатых разрядах, известных в физике управляемого термоядерного синтеза под названием пинч-разряда. Однако термоядерный пинч-разряд неустойчив, время его жизни не более миллисекунды. Нельзя ли удлинить это время?

Кроме того, хотя такой разряд и излучает в коротковолновой области спектра, но излучение в энергетическом балансе разряда в целом играет малую роль и рассредоточено в широкой спектральной области, поэтому как источник накачки он малоэффективен. Нельзя ли существенно увеличить его эффективность?

Три основные характеристики источника излучения — интенсивность, продолжительность импульса и эффективность — обычно связаны зависимостью, которая оказывается невыгодной в данном случае, а именно: увеличение интенсивности свечения достигается увеличением температуры плазмы и сопровождается уменьшением продолжительности свечения и эф-

фективности источника. Такая зависимость в полной мере проявилась в исследованиях термоядерных пинч-разрядов.

Каким же образом можно было разрешить указанные противоречия и совместить в одном объекте все необходимые свойства?

В данной статье мы изложим физические принципы и решения, найденные в ходе указанных исследований и позволившие создать источники оптического излучения, обладающие необходимыми, а в ряде случаев и экстремальными характеристиками.

## СВОЙСТВА ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ

Рассмотрим некоторые характеристики плазмы, которые потребуются нам для анализа указанных выше задач. Условимся обсуждать источники с энергией излучения  $10^5$  Дж при длительности импульса излучения  $10^{-4}$ — $10^{-3}$  с. Температура плазмы источника пусть достигает нескольких десятков тысяч градусов (удобной единицей для измерения температуры является электронвольт:  $1 \text{ эВ} = 11\,600 \text{ К} = 11,6 \text{ кК}$ ), а плотность —  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Эти цифры хотя и условны, но достаточно близки к параметрам «хороших» источников и к тем, которые были реализованы в лабораторных условиях. Кубический сантиметр водородной плазмы при указанной плотности и температуре 2 эВ содержит 3,5 Дж энергии. Таким образом, если мы хотим излучить  $10^5$  Дж энергии в гипотетическом процессе, в котором такая плазма сначала нагревается до указанной температуры, а затем, излучая, остывает, мы должны приготовить плазму объемом около  $10^5 \text{ см}^3$  с линейными размерами примерно 50 см. Как во всяком нагретом газе, в такой плазме существует давление, равное в нашем случае примерно 7 атмосферам, и это давление вынуждает газ расширяться, причем скорость расширения в два—три раза превышает скорость звука в плазме и составляет примерно 50 км/с. Будучи предоставленной самой себе, наша плазма разлетится за  $10^{-5}$  с, и мы должны выяснить, успеет ли она хоть сколько-нибудь излучить за это время, или все запасы энергии перейдут в кинетическую энергию разлета. Оказывается, что излучение составит ничтожно малую долю.

Рассмотрим другой подход. Пусть объем плазмы является рабочим телом, в которое энергия вводится постоянно, например за счет джоулева нагрева (т. е. нагрева электрическим током), и выводится

<sup>1</sup> Цикл работ «Физика сильноточных излучающих разрядов» (авторы А. Ф. Александров, Э. А. Азизов, Б. Л. Борович, А. И. Захаров, Н. П. Козлов, Ф. А. Николаев, Н. Н. Петров, И. В. Подмошенский, Ю. С. Протасов, Ю. П. Попов, В. Б. Розанов и А. А. Рухадзе) в 1981 г. был удостоен Государственной премии СССР.— Прим. ред.

за счет излучения, так что собственные запасы энергии в плазме примерно постоянны. Известно, что при температуре плазмы  $T$  излучение с единицы ее поверхности не может превосходить излучения с поверхности черного тела, которое определяется законом Стефана—Больцмана (см. рис. 1). Поток энергии с поверхности черного тела дается формулой:

$$S[\text{Вт}/\text{см}^2]=10^5 T^4[\text{эВ}],$$

а распределение по спектру — универсальной функцией Планка. Таким образом, при  $T=2$  эВ и времени излучения  $10^{-4}$  с нам потребуется источник с площадью сечения всего лишь  $100 \text{ см}^2$ . Эта оценка кажется привлекательной, но остаются неясными многие вопросы, среди которых главными являются: можно ли избавиться от влияния движения (разлета) плазмы и будет ли спектр излучения близок (похож) к спектру излучения черного тела?

Как же излучает реальная плазма? Для рассматриваемых нами задач наиболее важными механизмами излучения являются тормозное и фоторекомбинационное излучение (см. рис. 2). При тормозном процессе электрон излучает, когда траектория его движения в поле ядра изменяется, электрон испытывает отрицательное ускорение — тормозится (отсюда и название — тормозное излучение). Второй процесс связан с захватом электрона на один из свободных энергетических уровней иона; при таком захвате — фоторекомбинации — испускается фотон. Излучение, сосредоточенное в отдельных спектральных линиях, при рассматриваемых нами условиях играет малую роль в энергетическом балансе. Излучение малого объема плазмы подчиняется закону Кирхгофа, а именно: интенсивность испускания фотонов разных энергий пропорциональна произведению универсальной функции Планка, описывающей распределение излучения в спектре черного тела, на коэффициент поглощения в плазме фотонов с данной энергией. Излучение большого объема плазмы складывается из излучения малых объемов с учетом возможности поглощения части излучения в плазме. Граница между понятиями «малый» и «большой» объемы плазмы определяется из сравнения линейного размера плазмы и длины поглощения фотонов — величины, обратной коэффициенту поглощения. В результате спектр излучения плазмы выглядит примерно так, как это показано на рис. 1. Плазму называют оптически непро-

зрачной (или плотной), если ее излучение близко к излучению черного тела; если же поток излучения с поверхности плазмы заметно меньше, чем у черного тела, то говорят, что плазма оптически прозрачна.

Полный поток излучения черного тела, как уже говорилось, растет пропорционально четвертой степени температуры, полный поток излучения оптически прозрачной плазмы растет значительно слабее — пропорционально температуре в степени от  $1/2$  до  $3/2$ , в зависимости от состава плазмы — за счет того, что в отдельных участках спектра энергия практически не излучается. Как мы уже сказали, эффективность источника накачки определяется отношением «полезной» доли излучения, возбуждающей активную среду лазеров, к полной энергии излучения. Полезная часть энергии, как правило, сосредоточена в узком диапазоне спектра, поэтому при изменении температуры эта часть меняется примерно линейно с изменением температуры. Отсюда следует, что в оптически плотной плазме эффективность будет уменьшаться с ростом температуры, а в оптически прозрачной она может оставаться постоянной. Таким образом, возможный путь решения проблемы одновременного увеличения и интенсивности свечения и эффективности источника, заключается в создании условий, когда плазма, являясь оптически прозрачной, излучает селективно, т. е. в определенном диапазоне спектра.

Мы выяснили, что движение плазмы является неблагоприятным фактором (уменьшающим время излучения); следовательно, необходимо удерживать плазму — стенкой, газовой средой или магнитным полем. Однако плазма разрушает стенку, проникает в газовую среду, просачивается через магнитное поле. Характерное время такого процесса по порядку величины равно расстоянию, на которое проникла плазма в результате неустойчивостей, возникших в ней, деленному на скорость звука в плазме. При исследовании термоядерных пинчей было найдено, что это время значительно меньше (в 100 раз) необходимого времени излучения. Однако оказалось, что влияние мощного излучения на движение самой плазмы является кардинальным, излучение как бы подавляет неустойчивости, уменьшает просачивание плазмы сквозь магнитное поле, создает демпфирующую подушку между плазмой и стенкой или газовой средой.

Собственно, эти два положения —

необходимость селективного излучения и учета влияния излучения на динамику и устойчивость плазмы — и явились основными физическими результатами наших исследований. Далее мы несколько более подробно рассмотрим, как физически реализуются эти два фактора в реальной плазме мощных разрядов.

### СЕЛЕКТИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ

Из рассмотрения рис. 1 следует, что в той части спектра, в которой ко-

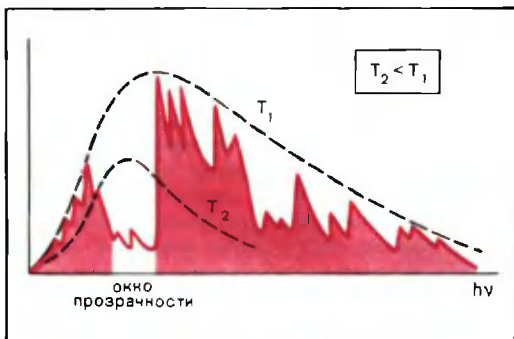


Рис. 1. Спектры излучения черного тела [функция Планка] при температурах  $T_1$  и  $T_2 < T_1$  (пунктир) и плазмы многозарядных ионов (цветная кривая).

и другие возможности, на которых мы здесь не будем останавливаться.

Рассмотрим на примере лития, к какому виду излучения приводит такая структура уровней. Как мы выяснили, для излучения необходимо, чтобы вещество было ионизовано (существовали свободные электроны) — тогда есть возможность и для тормозного, и для фоторекомбинационного излучения.

При малой мощности нагрева плазмы и низких температурах (ниже 0,5 эВ) ионизация мала, литиевая плазма излучает

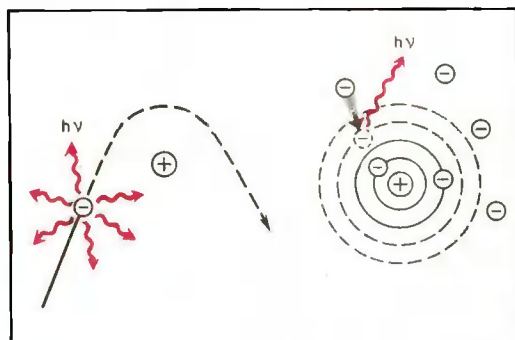


Рис. 2. ТОРМОЗНОЙ ПРОЦЕСС: электрон тормозится в поле ядра, двигается по искривленной траектории и испускает фотоны (слева). ФОТОРЕКОМБИНАЦИЯ: свободный электрон захватывается ядром на свободный уровень, при этом испускается фотон (справа).

эффциент поглощения велик и плазма является оптически плотной, излучение близко к излучению черного тела и поток энергии излучения является большим. В той части спектра, где коэффициент поглощения мал и плазма является оптически прозрачной, излучается значительно меньше энергии. Нельзя ли реализовать условия, когда излучение было бы сосредоточено в какой-либо относительно узкой области спектра? Пример, приведенный на рис. 1, соответствует излучению плазмы многоэлектронных атомов, например атомов металла, у которых для любого участка спектра найдется состояние иона, приводящее к излучению соответствующих фотонов. Однако у ряда элементов структура энергетических уровней такова, что разность энергий между соседними уровнями очень велика. Например, у лития энергия, необходимая для отрыва одного электрона от атома (первый потенциал ионизации), равна 5,4 эВ, а второго — уже 75 эВ, у бериллия второй и третий потенциалы ионизации равны соответственно 18,2 и 153,8 эВ. Имеются

в инфракрасной области. При увеличении мощности нагрева плазмы температура растет, в диапазоне температур 2—5 эВ все атомы однократно ионизованы. В области спектра 1—2 эВ (видимый свет) в излучение дают вклад и тормозной, и фоторекомбинационный процессы. В области 3—10 эВ (ультрафиолет и вакуумный ультрафиолет) излучение носит чисто тормозной характер; коэффициент поглощения, оптическая плотность и интенсивность излучения резко уменьшаются с ростом энергии фотонов (обратно пропорционально энергии фотонов в третьей степени), поэтому литиевая плазма практически не излучает в этой области, излучение сосредоточено в длинноволновом диапазоне. При температуре плазмы свыше 5 эВ начинается двукратная ионизация лития, становится возможным процесс фоторекомбинации в основное состояние двукратного иона, сопровождающийся излучением очень жестких квантов с энергией, превышающей 75 эВ (мягкое рентгеновское излучение).

Вид спектра излучения зависит от

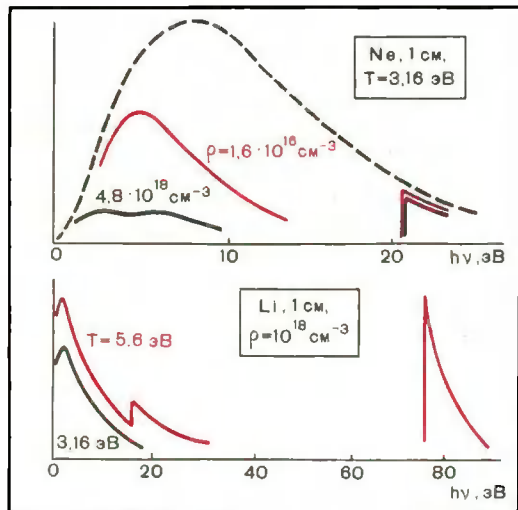


Рис. 3. Спектры излучения слоев неоновой плазмы [вверху] толщиной 1 см при температуре  $T=3,16$  эВ и плотности частиц [атомов и ионов]  $1,6 \cdot 10^{18}$  и  $4,8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  и литиевой плазмы [внизу] толщиной 1 см при плотности  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  и температуре 3,16 и 5,6 эВ. Пунктир — спектр черного тела при температуре 3,16 эВ.

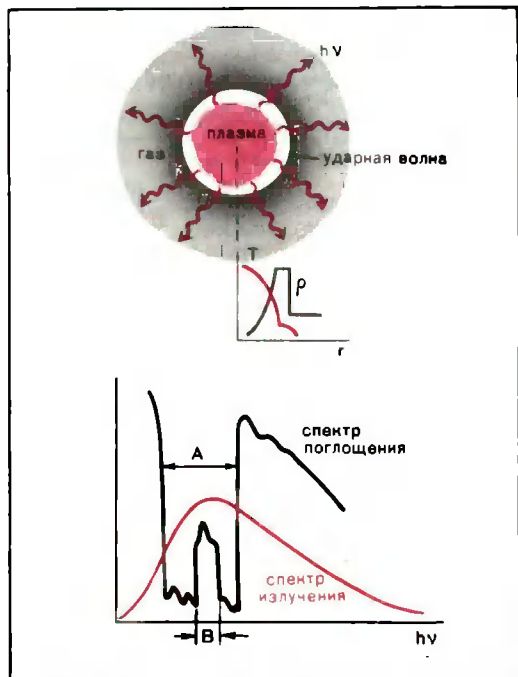


Рис. 4. Излучающий разряд в газе, вид с торца [вверху]:  $T$  — температура,  $\rho$  — плотность плазмы. ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕЛЕКТИВНОСТЬ [внизу]: излучение, выходящее в газ вне окна прозрачности А, поглощается газом, нагревает его и может быть снова переизлучено, в том числе в окне прозрачности А и в области возбуждения (активации) атомов В.

плотности и размеров плазмы. Если плотность частиц настолько велика, что плазма является оптически плотной во всем спектральном интервале, то спектр излучения близок к спектру черного тела. Если же частиц мало и плазма является оптически плотной только в тех спектральных областях, в которых велик коэффициент излучения, то в этих же областях интенсивность излучения близка к интенсивности излучения черного тела и значительно меньше в соседних областях. На рис. 3 представлены различные спектры излучения литиевой и неоновой плазмы в зависимости от температуры и плотности частиц.

Таким образом, можно указать условия, при которых плазма будет излучать в относительно узкой области (в 5—10 раз более узкой, чем вся возможная область ее излучения) с интенсивностью, близкой к максимально возможной. В этих условиях эффективность лазерной накачки (т. е. отношение энергии, излученной плазмой в полосе поглощения активной среды лазера, к полной излученной энергии) может превышать эффективность неселективного облучения в 10—30 раз.

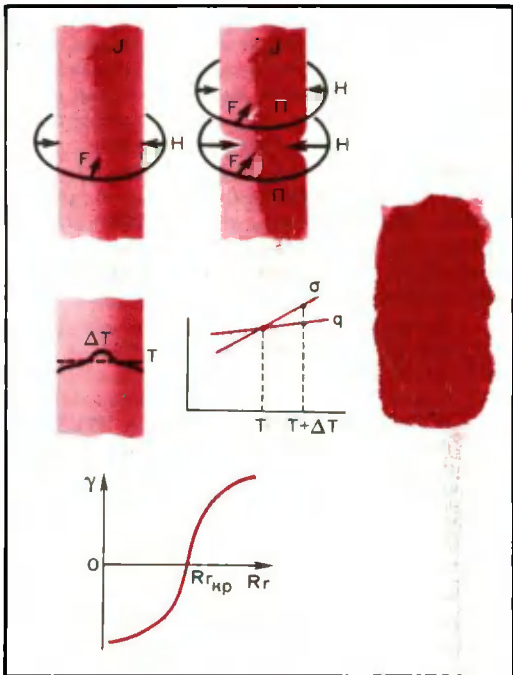
Увеличить эффективность накачки при селективном облучении оказывается возможным не только используя различия в спектральных свойствах плазменного излучения, но и за счет различий спектров пропускания газовых сред. Представим себе излучающее в широком спектральном диапазоне плазменное облако, окруженное холодной газовой средой (рис. 4). Коэффициент поглощения газовой среды всюду велик, за исключением относительно узкой спектральной области (окно прозрачности), спектральная полоса накачки лазера расположена внутри окна прозрачности газовой среды, т. е. ее ширина меньше ширины окна прозрачности. Фотоны, излучаемые плазмой в окне прозрачности, проходят через газовую среду, и часть из них поглощается в лазерном веществе. Фотоны, излучаемые вне окна прозрачности, поглощаются газовой средой, нагревают ее и превращают в плазму, которая снова излучает аналогичные фотоны. Таким образом, излучение вне полосы накачки лазера не теряется и может внести вклад в увеличение эффективности накачки.

#### ДИНАМИКА, РАВНОВЕСИЕ, УСТОЙЧИВОСТЬ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПЛАЗМЫ

Для целей оптической накачки плазма должна существовать достаточно долго: при этом размеры источника и спектраль-

ные характеристики излучения не должны существенно меняться в процессе накачки. Разумеется, понятие «долго» количественно определяется для каждого конкретного физического случая по-своему, но ясно, что время жизни плазмы должно превышать время развития в ней неустойчивостей.

Рассмотрим равновесное состояние простейшего варианта источника излучения — цилиндрического столба плазмы. Приравняв друг другу мощность нагрева и поток излучения, а также давление плазмы и магнитного поля, получим,



**Рис. 5. ПЕРЕТАЖКА** (вверху):  $J$  — ток;  $H$  — магнитное поле;  $F$  — магнитная сила, стягивающая плазму. Слева эта сила постоянна по высоте разряда, справа в зоне перетяжки сила  $F$  значительно больше, чем вне перетяжки.  $P$  — плазма, вытекающая из зоны перетяжки.

**ПЕРЕГРЕВНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ** (в середине). При случайном скачке температуры  $\Delta T$  равновесие нарушается: нагрев, пропорциональный проводимости  $\sigma$ , становится больше охлаждения, пропорционального потоку излучения  $q$ . Справа изображен разряд, подверженный одновременным перегреву и силовым неустойчивостям, темные и светлые нити соответствуют горячим и холодным областям плазмы.

Зависимость инкремента роста возмущений (показателя экспонента)  $\gamma$  от излучательного числа Рейнольдса (внизу): устойчивая область  $Rg < R_{кр}$ , неустойчивая область  $Rg > R_{кр}$ .

что плотность и размеры плазменного столба равны соответственно  $10^{18}$  —  $10^{19}$  см<sup>-3</sup> и 1—3 см. Отсюда же получаются температура плазмы, равная 20—30 кК, и спектр излучения. Время излучения такого столба плазмы определяется запасами энергии в источнике питания.

Почему же неустойчивости не разрушают эту плазменную конфигурацию?

Ведь из исследований термоядерных плазменных разрядов хорошо известно, что такая структура — пинч-разряд — быстро разрушается в результате действия силовых неустойчивостей. Термин «силовые» указывает на причину неустойчивости — невозможность скомпенсировать магнитную силу силой плазменного давления при малейшем отклонении плазменного объема от равновесия. Действие одной из силовых неустойчивостей проще всего проиллюстрировать следующим рассуждением (рис. 5). Предположим, что радиус плазменного цилиндра в одном месте уменьшился по сравнению с равновесным — возникла «перетяжка». Из-за возможности вытекания плазмы вдоль оси цилиндра в месте перетяжки давление плазмы сохранится, а магнитное давление возрастет, так как прежний ток будет протекать по проводнику меньшего сечения. Возникшее увеличение магнитного давления вызовет дальнейшее уменьшение сечения плазмы и т. д., так что в конце концов этот процесс приведет к обрыву тока. Время развития этой катастрофической неустойчивости оказывается порядка размера плазмы, деленного на скорость звука, т. е.  $10^{-6}$  с. Это в 100—1000 раз меньше, чем необходимо для накачки лазеров. Другие аналогичные неустойчивости изгибают и скручивают плазменный шнур.

Однако эксперименты убедительно показывают, что в излучающих разрядах перетяжка не развивается. В результате развития теории таких разрядов было установлено, что в них процесс переноса энергии и энергетический баланс определяются не частицами плазмы — электронами и ионами, как это имеет место в термоядерных разрядах, а излучением, порожденным этими же частицами. Чтобы отметить это отличие от термоядерной плазмы, такую плазму называют излучающей. Однако заметим, что в излучающих разрядах давление по-прежнему определяется частицами. Оказалось, что условия равновесия (т. е. равенство мощности нагрева плазмы и потока излучения из нее и равенство магнитного и плазменного

давлений) приводят к существованию вокруг центрального плотного и горячего столба протяженной зоны редкой, но еще достаточно горячей, проводящей плазмы — так называемой короны. В термоядерных разрядах основной механизм переноса энергии — электронная теплопроводность. Выравнивая температуру и плотность плазмы по сечению столба, она приводила к существованию резкой границы разряда. Поэтому в процесс перетяжки вовлекалась вся плазма, что приводило к сужению сечения и, в конечном счете, к обрыву тока и разрушению разряда. В излучающих разрядах протяженная корона не допускает концентрации тока в каком-либо узком месте, поэтому в них неустойчивость типа перетяжки отсутствует.

Другим распространенным типом неустойчивости в плазме является перегревная неустойчивость. Пусть для рассматриваемого объема плазмы при существующей температуре выполняется условие равенства мощности нагрева и потока излучения. Если температура случайно изменится на малую величину  $\Delta T$ , то условие теплового равенства может нарушиться, так как обычно мощность нагрева и поток излучения по-разному зависят от температуры (см. рис. 5).

Другая причина перегривной неустойчивости связана с движением малых объемов плазмы. Рассмотрим этот случай. Пусть температура в каком-либо объеме плазмы, который до этого находился в состоянии равновесия, возросла на величину  $\Delta T$ . В результате в этом объеме повысится давление, плазма будет расширяться и плотность ее уменьшится. Это приведет к уменьшению потока излучения, который пропорционален плотности. Мощность нагрева, определяемая проводимостью плазмы, возрастает с ростом температуры и практически не зависит от плотности. В итоге в рассматриваемом объеме энергетический дисбаланс будет усиливаться, а первоначальная флуктуация температуры будет нарастать. Процесс, который мы рассмотрели, легче происходит, если область, охваченная флуктуацией, мала (так как она быстрее расширяется), поэтому вероятная картина развития разряда состоит в разбиении его на «нити» — горячие и холодные области, вытянутые вдоль тока, в которых процессы развиваются независимо. Каждая из нитей подвержена и силовым неустойчивостям, которые изгибают и скручивают ее. В результате конкуренции перегривных и силовых не-

устойчивостей должна возникнуть сложная картина неоднородной, пульсирующей, можно сказать — турбулентной, излучающей плазмы. И такая картина действительно наблюдалась в эксперименте.

При сравнении экспериментальных и теоретических данных было замечено еще одно важное обстоятельство. Оказалось, что чем выше оптическая плотность разряда, чем ближе его спектр излучения к спектру излучения черного тела, тем более однородной является плазма и тем лучше совпадают теоретические предсказания размера, плотности и температуры разряда с результатами измерений. При уменьшении оптической плотности расхождение теории и эксперимента становилось значительным, причем пульсирующая турбулентная картина плазмы становилась более заметной. Можно сказать, что наблюдался переход излучающей плазмы разряда — в зависимости от ее оптической плотности — из хорошо предсказуемого однородного устойчивого (ламинарного) состояния в неустойчивое (турбулентное).

#### ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО РЕЙНОЛЬДСА

В гидродинамике известен переход ламинарного течения жидкости по трубе в турбулентное при возрастании скорости течения. Для количественной характеристики этого перехода используется безразмерный параметр, получивший название числа Рейнольдса. В 1883 г. английский ученый О. Рейнольдс, изучая течение жидкости с окрашенными струйками в прозрачных трубках, показал, что при увеличении скорости течения, начиная с ее некоторого значения, внезапно меняется характер течения — из слоистого, ламинарного, оно превращается в нерегулярное, случайное, запутанное — турбулентное. При этом изменяется закон сопротивления движению по трубе, т. е. изменяется макроскопическая характеристика течения. Безразмерное число Рейнольдса  $Re = vL/\nu$  составлено из трех существенных величин, определяющих течение: скорости  $v$ , диаметра трубы  $L$  и кинематической вязкости  $\nu$ . Критическое значение числа Рейнольдса, при котором совершается указанный переход, равно примерно 2000, что при диаметре трубки 1 см соответствует скорости течения воды примерно 30 см/с.

При изучении движения токопроводящих жидкостей и газов, находящихся в магнитном поле, оказалось, что существ-

вует безразмерный параметр<sup>2</sup>, называемый магнитным числом Рейнольдса  $Rm$ . Оно характеризует аналогичный переход от течения, в котором магнитное поле имеет регулярный характер, к течению с нерегулярным полем и определяется существенными для течения проводящей жидкости величинами — проводимостью  $\sigma$ , скоростью  $v$  и характерным размером  $L$ :  $Rm = \sigma v L$ ;  $c$  (с — скорость света).

При всем внешнем несходстве величин  $Re$  и  $Rm$  они обнаруживают глубокую качественную аналогию. Эти числа характеризуют отношение параметров, приущих локальному движению элементарных объемов жидкости, к параметрам, отражающим ее общее интегральное движение как целого, причем течение становится турбулентным при больших значениях этих чисел. Число Рейнольдса определяется соотношением сил инерции и сил вязкости. Силы инерции отражают локальный характер движения (каждый объем жидкости стремится двигаться независимо), в то время как силы вязкости приводят к установлению некоторого среднего течения. Магнитное число Рейнольдса является отношением скорости перемещения магнитного поля вместе с объемом плазмы к скорости его диффузии. И в этом случае первый параметр характеризует тенденцию к независимости от остальной среды перемещению магнитного поля вместе с данным объемом жидкости, а второй — тенденцию усреднения поля по всему объему.

Что же происходит в излучающей плазме? В оптической тонкой (т. е. прозрачной для собственного излучения) плазме из-за невозможности скомпенсировать рост нагрева излучением в объеме, где произошла случайная флуктуация температуры, развивается перегреваемая неустойчивость. Силовые неустойчивости, которые особенно быстро действуют в малых объемах плазмы, изгибают и переплывают горячие и холодные области. В результате соседние объемы начинают вести себя независимо — температура, плотность плазмы, плотность тока и магнитное поле флуктуируют, меняются нерегулярно от точки к точке. При большой оптической толщине плазмы (непрозрачной по крайней мере для части собственного излучения) во всем объеме разряда накапливается соб-

ственное излучение. Поэтому в балансе энергии для объема, охваченного флуктуацией, необходимо учесть поступление энергии от излучения, существующего в плазме. Оказывается, что наличие этого излучения кардинальным образом меняет поведение плазмы: флуктуации не имеют возможности развиться, в плазме устанавливаются некоторые средние распределения, зависящие от поля излучения, вклад в которое вносят все объемы рассматриваемой плазмы.

Таким образом, локальной характеристикой в данном случае могло бы явиться объемное излучение, при котором каждый объем плазмы излучает независимо. Интегральной характеристикой при этом можно считать излучение с поверхности плазмы, отнесенное к единичному объему. Оно складывается из излучения отдельных объемов с учетом поглощения и переизлучения фотонов. Это поглощение и переизлучение способствует выравниванию усилий во всем объеме плазмы и тем самым препятствует ее «турбулизации». Можно представить себе фотоны в виде микроснарядов, которые летают по плазме и сбивают все неровности.

Излучательное число Рейнольдса  $Rr = I_{\text{ф}}/L$  как соотношение средней (по спектру) длины свободного пробега фотонов  $l_{\text{ф}}$  к размеру плазмы  $L$  (т. е. ее усредненная оптическая толщина) было впервые введено нами в 1969 г.<sup>3</sup> При таком определении оно аналогично известному в газовой динамике числу Кнудсена, характеризующему степень разреженности газа (в числе Кнудсена вместо пробега фотонов фигурирует пробег молекул).

В приведенных рассуждениях плазма по существу рассматривается как двухкомпонентная среда, состоящая из частиц и фотонов. Введение излучательного числа Рейнольдса есть отражение этого обстоятельства. Таким образом, в магнитной излучающей плазме следует говорить о трех числах Рейнольдса: обычном, магнитном и излучательном. Если же заметить, что плазма, вообще говоря, является многокомпонентной средой и состоит из электронов, ионов разного сорта и нейтральных частиц, то станет ясным, что можно вводить большое число безразмерных параметров, аналогичных числу Рейнольдса. По существ-

<sup>2</sup> Он введен известным шведским физиком С. Лундквистом в 1952 г.

<sup>3</sup> Розанов В. Б., Рухадзе А. А. Сильноточные излучающие разряды. Обзорный доклад. — В сб.: Тр. IX Междунар. конф. по ионизованным газам. Бухарест, 1969; препринт ФИАН, М., 1969, № 132.

ву (это известно из теории неизотермической плазмы с электронной температурой, заметно превышающей температуру ионов, когда процессы переноса, в частности переноса тепла, определяются электронами, а инерция — ионами плазмы) колебания и устойчивость такой плазмы сильно зависят от электронной теплопроводности. В термоядерной плазме в энергетическом балансе важную роль играют  $\alpha$ -частицы и нейтроны, в такой плазме можно обсуждать необходимость введения соответствующих чисел Рейнольдса, в плазме звезд можно думать о нейтринном числе Рейнольдса, и так далее.

Однако вернемся к устойчивости излучающей плазмы. Число  $Rr = I_{\nu} / L$  также характеризует степень разреженности плазмы, но по отношению к фотонам собственного излучения. В связи с этим излучательное число Рейнольдса приобретает новое чрезвычайно важное свойство — при его изменении от бесконечности до нуля интенсивность излучения в плазме возрастает от нуля до равновесного значения, определяемого известной формулой Планка. Это свойство выделяет фотоны из всех других частиц, а в проблеме устойчивости излучающих разрядов является наиболее существенным обстоятельством.

Чтобы увидеть, как излучательное число Рейнольдса влияет на устойчивость плазмы, нужно проследить эволюцию ее малого возмущения. Проще всего это сделать, рассматривая уравнение баланса энергии. Опуская промежуточные выкладки, скажем, что решение уравнения для возмущений температуры имеет экспоненциальный характер, причем показатель экспоненты зависит от  $Rr$ . При  $Rr \rightarrow \infty$  (оптически прозрачная плазма) этот показатель положителен и возмущение может развиваться, расти — это случай неустойчивой плазмы. При  $Rr \rightarrow 0$  (оптически плотная плазма) он отрицателен, возмущения затухают и плазма устойчива. Смена режима происходит при  $Rr_{кр} \approx 1,5 - 2$  (см. рис. 5). Более подробный анализ показывает, что если плазма от 10 до 30 % всей своей излучательной энергии теряет в условиях, близких к условиям черного тела (т. е. при оптической толщине для этой части фотонов около единицы), то это обеспечивает ее устойчивое состояние и, соответственно, продолжительное время жизни и излучения.

Перегревная неустойчивость плазмы, приводящая к турбулентности, проявляется в различных физических явлениях. Известна ионизационная турбулентность

слабо ионизированной плазмы с током, например плазмы в МГД-преобразователях тепловой энергии в электрическую. В реальных условиях МГД-плазмы ионизация не дает существенного вклада в баланс энергии, поэтому  $Rr \gg 1$ ; электронная теплопроводность также незначительна из-за влияния магнитного поля, в результате такая плазма обычно сильно турбулентна.

Перегревно-ионизационная неустойчивость в виде стягивания тока в узкие каналы (контракции тока) наблюдается при пробое газов высокого давления и при самостоятельном и несамостоятельном разрядах, часто используемых в мощных газовых лазерах. Эти разряды происходят в смеси из благородного газа и легко ионизируемой примеси. Если ионизация смеси происходит преимущественно из-за столкновений электронов с атомами примеси, то такой разряд неустойчив по отношению к контракции. Если же ионизация носит ступенчатый характер (электронным ударом происходит возбуждение атомов благородного газа, а затем при их фотораспаде ионизируются атомы примеси), то такой разряд стабилизируется. Причина в том, что излучение возбужденных атомов «уносит» возмущения температуры на большие расстояния (на длину свободного пробега квантов фотораспада) и выравнивает условия во всем объеме разряда.

Среди других явлений можно отметить неустойчивость токового слоя и перезамыкание силовых линий магнитного поля в магнитосфере Земли, что, по-видимому, связано с уменьшением вклада собственного излучения ионосферной плазмы. Возможно, грануляционная структура солнечной фотосферы также связана с развитием перегревной неустойчивости, которая подавляется только на больших глубинах (более  $10^4$  км), где лучистая теплопроводность сглаживает условия в солнечной плазме.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗЛУЧАЮЩИХ РАЗРЯДОВ

В предыдущих разделах мы кратко описали основные направления и результаты теоретических исследований. В лабораториях были проведены многочисленные эксперименты, разработаны диагностические методы, измерены различные характеристики мощных излучающих разрядов. В этом разделе мы изложим основные результаты экспериментов, относящихся к



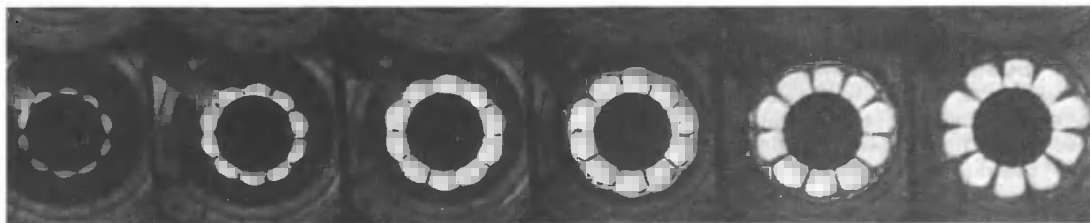


Рис. 6. Покадровая съемка 10-канального разряда в газе [обратный пинч, вид с торца]. Слева — начальная стадия, справа — развитая стадия, весь процесс занимает 50 мкс. Отчетливо видны отдельные каналы и общая ударная волна, окружающая разряд.

наиболее интересным типам разрядов — прямым, обратных и многоканальных пинчей, расширяющихся разрядов в плотном газе, плазмодинамических разрядов в магнитоплазменных компрессорах.

Вначале несколько слов о том, как создается плазма в различных устройствах. Имеется три основных метода: взрыв проводника (тонкой проволоочки); электрической пробой и последующий разряд в газе, заполняющем камеру; эрозия, испарение, нагрев и ионизация вещества диэлектрической стенки камеры с последующим разрядом в образовавшейся плазме. Первый метод позволяет создавать плазму из металлов (лития, вольфрама и т. п.), второй применяется в случае молекулярных и благородных газов, третий характерен для плазмодинамических разрядов.

В пинч-разрядах (т. е. цилиндрических разрядах, в которых плазма удерживается магнитным полем собственного тока) была измерена наиболее высокая эффективность перехода энергии источника питания в излучение — 100 % на квазистационарной стадии (излучалась вся вводимая энергия) и до 70 % интегрально за все время процесса. В этих разрядах для создания плазмы были испробованы различные вещества — литий, неон, алюминий, медь, свинец, вольфрам, кадмий и другие материалы, измерены спектры излучения — от близкого к спектру черного тела до различных видов оптически прозрачного селективного излучения. В случае лития была обнаружена именно такая селективность, которая была описана в предыдущем разделе (рис. 3). Эффективность излучения в заданной полосе мягкой области спектра повышалась при этом в 3—5 раз по сравнению с вариантом

черного тела. Было получено селективное излучение в области фоторекомбинации двукратно ионизованного лития с энергией квантов 75 эВ (длина волны  $\sim 18$  нм). В случае неона наблюдалось селективное излучение, связанное с рекомбинацией на основной уровень. На прямых пинч-разрядах была экспериментально исследована проблема устойчивости излучающей плазмы.

Обратный пинч-разряд получил свое название потому, что в нем излучающая плазма образует цилиндрическую оболочку, по которой ток протекает в одном направлении, а по специально массивному проводнику, расположенному на оси цилиндра, возвращается в обратном направлении весь плазменный ток или часть его. Эта конфигурация представляла интерес в связи с ее более высокой устойчивостью по сравнению с прямым разрядом. Дело в том, что в обратном разряде часть магнитного поля задается центральным током и, следовательно, не подвержена флуктуациям, что в конечном счете повышает устойчивость. В обратном пинче поверхность плазмы велика и можно излучить большое количество энергии, однако температура плазмы в нем обычно ниже, чем в прямом разряде. На фотографии (рис. 6) показаны последовательно стадии обратного пинча, образованного взрывом нескольких проволоочек. Фотография демонстрирует устойчивое развитие разряда.

Расширяющийся разряд в плотном газе оказался идеальным источником накачки для газовых лазеров, работающих на принципе фотодиссоциации молекул типа  $SF_6$  (так называемый фотодиссоционный иодный лазер). Для фотодиссоциации, в результате которой отщепляется иод в возбужденном состоянии, требовались кванты с энергией около 4,4 эВ. Прозрачные материалы типа стекла и даже кварца поглощают такие кванты. Таким образом, отделение источника накачки от лазерной среды приводило к существенному снижению эффективности. Выход был найден в осуществлении разряда в самой газовой

среде. Такие разряды были исследованы; оказалось, что они относятся к оптически плотным, излучение обеспечивает их устойчивое, стабильное развитие, роль магнитного поля в них невелика, поэтому они расширяются. Однако скорость расширения оказалась малой, а время излучения достаточно большим. Этот факт потребовал объяснения, так как температура плазмы и потока излучения были велики (температура плазмы 50—60 кК) и это не согласовывалось с малой скоростью движения (около 1 км/с; вспомним оценку ско-

ральная область и даже слабое поджатие разряда магнитным полем на поздней стадии его развития.

В плазмодинамических разрядах плазма сначала ускоряется магнитным полем. Ускоренная плазма в магнитном поле движется по такой траектории, что ее сгусток, первоначально имевший форму бублика, сжимается в примерно сферическое образование, плотное и горячее. При столкновении плазменных струй кинетическая энергия переходит в тепло и затем в сферическом сгустке-фокусе — в излуче-



Рис. 7. Фотохронограмма и структура отдельного канала разряда в газе. Справа — профиль температуры  $T$  в разряде и скачок плотности  $\rho$  вблизи фронта ударной волны.

рости расширения водородной плазмы: 50 км/с), изменение молекулярного состава газа не давало объяснения эффекта. Оказалось, что разряд имеет сложную структуру — он состоит из горячей сердцевинки (тепловой волны), окруженной ударной волной, распространяющейся по лазерной среде. Температура вещества в ударной волне действительно невелика (несколько тысяч кельвинов) и соответствует указанной скорости расширения, а излучение дает горячая сердцевина.

На этом типе разряда был измерен эффект газодинамической селективности, описанный выше, и созданы мощные лазеры, нашедшие самое широкое применение, в том числе для термоядерных исследований. На рис. 7 приводится фотохронограмма такого разряда. Разряд снимался сбоку через узкую щель; благодаря движению изображения на регистрирующей пленке можно непрерывно проследить весь процесс развития разряда. Видны ударная волна, горячая излучающая цент-

не. На стадии полета плазменные струи могут дополнительно подогреваться током. Поскольку в фокусе не все скорости гасятся, он является динамическим образованием — плазма как бы протекает через этот сгусток. В этом типе разряда важным является разделение стадий первичного поступления энергии от источника питания (через магнитное поле) и выделения энергии в плотной излучающей плазме при столкновении плазменных струй. Такое газодинамическое поступление энергии, заданное внешними условиями (скоростью и плотностью струй), не позволяя развиваться перегревным и силовым неустойчивостям, приводит к динамической стабильности фокуса и обеспечивает более высокую скорость введения энергии в плазму по сравнению с электрическим нагревом. Варьируя материал и количество плазмы, скорость струй и магнитное поле, можно регулировать температуру и плотность плазмы, спектр излучения и другие ее параметры. На основе плазмодинамических разрядов созданы источники накачки и лазеры, работающие в режиме повторяющихся импульсов, достигнута высокая селективность излучения вплоть до области энергий квантов 50—100 эВ с эффективностью в 20—30 раз более высокой, чем в случае черного тела. Скорости плаз-

менных потоков при формировании плазменного фокуса составляют 30—100 км/с.

Отметим, что в разрядах, о которых шла речь в данном разделе, осуществлены излучающие поверхности площадью около  $1 \text{ м}^2$ , а энергия излучения составляла десятки и сотни килоджоулей.

В программе исследований различных разрядов и поисков оптимальных решений многопараметрических систем чрезвычайно важную роль играют теоретические предсказания. Однако в таких сложных динамических системах аналитический подход оказывается недостаточным. Поэтому на ранней стадии исследований была поставлена задача численного моделирования процессов в сильноточных разрядах, включая излучение. Не имея возможности рассказать здесь о всех сторонах работы, отметим лишь, что разработанные программы позволили не только количественно описывать и предсказывать явления в излучающей плазме и провести широкий поиск оптимальных вариантов установок, но и создали серьезную математическую основу для следующего поколения программ. Это один из первых в нашей стране примеров численного моделирования сложнейших процессов в плотной излучающей плазме сильноточных разрядов.

Недостаток места, к сожалению, не позволяет нам также рассказать о разработанных диагностических методах; отметим только, что многие методы были разработаны впервые и сейчас широко применяются в лабораториях.

Фундаментальные исследования физики сильноточных излучающих разрядов, поставленные и выполненные в нашей стране, заложили основы нового перспективного раздела науки — физики плотной излучающей плазмы в магнитных полях. Как это часто бывает, практические потребности (создание источников оптической накачки) инициировали исследования глубокого фундаментального плана, давшие, в свою очередь, базу для широких и разнообразных приложений.

Вот самый краткий перечень применений новых источников излучения и новых научных результатов. Созданы фотодиссоционные лазеры на атомарном иоде, в том числе мощный лазер с короткими импульсами для термоядерных исследований; осуществлено фотоиницирование мощного химического лазера; запущены лазеры на электронных переходах молекул  $\text{S}_2$ ,  $\text{XeO}$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{HgBr}$ ,  $\text{XeF}$ ; созданы удобные для практики лазеры на растворах сложных органических соединений (краси-

телей) и фотодиссоционные лазеры, работающие в режиме повторяющихся импульсов. Оптическое излучение фронта расходящегося разряда широко используется в фотохимии для определения скоростей реакций атомов, молекул и радикалов в основных и возбужденных состояниях. Мощная излучающая плазма является очень эффективным ультрафиолетовым источником для литографии в микроэлектронике, для определения оптических свойств металлов в условиях, близких к фазовому переходу твердое тело — жидкость. Критерии устойчивости, учитывающие излучение, применяются в исследованиях перезамыкания силовых линий магнитного поля в магнитосферах звезд и планет, созданные разностные схемы (получившие название полностью консервативных — в этих схемах помимо законов сохранения точно выполняется ряд физических соотношений) и математические программы используются для численного моделирования разнообразных физических процессов. Созданы эталонные источники сильных ударных волн и яркости в ультрафиолетовой области спектра. Мощные оптические источники вышли за пределы физических лабораторий, даже в медицине они оказались полезны — для ультрафиолетовой стерилизации операционных.

Многие из указанных работ не только практически важны, но и являются интересными с общезначимой точки зрения, и о них можно было бы отдельно рассказать на страницах журнала «Природа».

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Александров А. Ф., Рухадзе А. А. ФИЗИКА СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗЯДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА. М.: Атомиздат, 1976.

СИЛЬНОТОЧНЫЕ РАЗЯДЫ И ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ С ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ. Под ред. Н. Г. Басова. Сер. «Итоги науки». М.: ВИНТИ, 1978.

Афанасьев Ю. В., Басов Н. Г., Гамалий Е. Г., Крохин О. Н., Розанов В. Б. ПРОГРЕСС В ФИЗИКЕ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА.— Природа, 1976. № 10, с. 4.

## «Клетки-няньки» для лимфоцитов

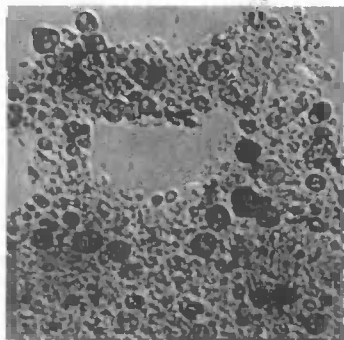
**И. А. Болотников,**  
доктор биологических наук

**Е. К. Олейник,**  
кандидат биологических наук

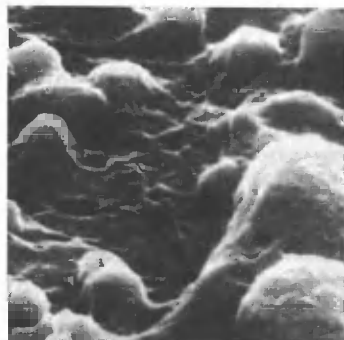
Институт биологии Карельского  
филиала АН СССР  
Петрозаводск

Среди лейкоцитов (белых кровяных клеток) лимфоциты — самая многофункциональная группа. С функциями лимфоцитов связаны реакции специфического иммунитета, они являются предшественниками клеток, образующих антитела, и носителями иммунологической памяти.

Источники лимфоцитов — органы, богатые лимфоидной тканью: селезенка, костный мозг, лимфатические образования желудочно-кишечного тракта, тимус и у птиц сумка Фабрициуса, или бурса. Количество лимфоидной ткани составляет около 1% от массы тела. В течение часа у человека на каждый килограмм массы его тела образуется до 3 млн лимфоцитов, у собаки — 18, кошки — 32, морской свинки — 48, кролика — 88, крысы — 112 млн. Основная часть лимфоцитов приходится на органы и ткани, и лишь незначительная находится в периферической крови, где состав их многократно меняется, поскольку в кровяном русле они пребывают 2—3 часа, а затем через сосудистую стенку проникают в ткани. Могут также перемещаться между клетками тканей, известна и их способность проникать в цитоплазму различных клеток и находиться там неопределенно



В ткани тимуса уже после лервичной обработки ее трипсином видны «клетки-няньки» — наиболее крупные из тимусных клеток.



После неполной трипсинизации видны крупные «клетки-няньки» и мелкие тимоциты.

долгое время. При этом лимфоциты бывают окружены клеточной мембраной, а сама клетка сохраняет полную самостоятельность.

Различают две большие группы лимфоидных клеток — Т- и В-лимфоциты. Обе группы происходят от стволовых клеток костного мозга, но если клетка-предшественник попадает в тимус, то созревает там до Т-лимфоцита, а оставшаяся в костном мозге (или мигрировавшая в бурсу у птиц, а также в аппендикс и пейеровы бляшки кишечника млекопитающих) превращается в В-лимфоцит. При созревании лимфоцитов происходит их дифференцировка, в результате образуется множество разнообразных популяций и клонов<sup>1</sup>.

После созревания Т- и В-лимфоциты расселяются по периферическим органам и тканям.

Пути формирования Т- и В-систем иммунитета неоднократно подтверждены в экспериментах на различных видах животных, но частные этапы дифференцировки каждой из них пока далеко не ясны. Лишь в последние три года выполнены работы, которые можно расценивать как начало к познанию этих путей дифференцировки.

В 1980 г. Х. Векерли и У. Кетельсон обнаружили в тимусе мышей и крыс крупные клетки (до 50 мкм), содержащие от 2—3 до 50 Т-лимфоцитов, и каждый из них был окружен

<sup>1</sup> Подробнее о дифференцировке лимфоцитов см.:

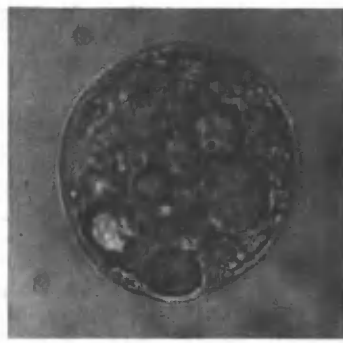
эпителиальной оболочкой? В тимусной клетке, названной авторами исследованием «клеткой-нянькой», примерно треть Т-лимфоцитов находилась в состоянии митоза. Авторы считают, что именно в «клетках-няньках» и происходит дифференцировка Т-лимфоцитов, поскольку внутри «нянек» создается микроокружение, стимулирующее развитие Т-клеток и дальнейшее приобретение ими более высокой специфичности.



Громадная «клетка-нянька» после полной трипсинизации ткани тимуса.

число Т-лимфоцитов в них достигало 30.

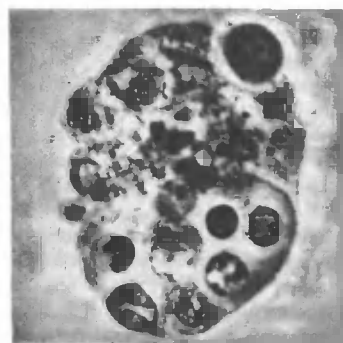
Факт существования «клеток-нянек» у птиц и млекопитающих позволяет предположить, что в организме животных этих классов существует унифицированный способ «обучения» Т-лимфоцитов. В «клетках-няньках» лимфоциты, очевидно, приобретают свойства, которые в дальнейшем проявляются во множестве функций, выполняемых субпопуляциями этих важ-



«Клетка-нянька» с целостной мембраной

постепенно, по мере полового созревания атрофируется). Вторых, возможен и другой путь созревания В-лимфоцитов, не связанный с бурсой. Второе объяснение кажется более логичным, поскольку бурса-зависимое созревание В-клеток должно было возникнуть в эволюции как строго специфичный механизм, функционирующий только у птиц. Ведь у других животных бурсы нет!

Дальнейшие эксперимен-



Отдельная «клетка-нянька», содержащая Т-лимфоциты разных размеров.

Найдены «клетки-няньки» и в тимусе человека<sup>2</sup>, а недавно мы обнаружили их у цыплят, телят и поросят. В своих экспериментах мы использовали тот же самый подход, что и Векерли с Кетельсоном: измельченную ткань тимуса многократно обрабатывали раствором трипсина — фермента, расщепляющего соединительную ткань. Получив таким образом отдельные клетки тимуса, мы обнаружили среди них клетки, аналогичные тем, которые были найдены в тимусе мышей и крыс. Куриные «клетки-няньки» различались между собой размерами (от 15 до 100 мкм), а максимальное

число для иммунитета клеток.

Возможно также, что если не идентичный, то, по крайней мере, сходный механизм дифференцировки Т-лимфоцитов возник на еще более ранних этапах эволюции, например у рыб, тоже имеющих тимус.

Если «обучение» и размножение Т-лимфоцитов происходит в «клетках-няньках» тимуса, то в бурсе птиц могут существовать подобного же рода клетки для дифференцировки В-лимфоцитов. Сделав такое предположение, мы провели серию экспериментов по выделению индивидуальных клеток бурсы, но «клеток-нянек» в ней не обнаружили. Объяснить это можно по-разному. Во-первых, вполне вероятно, что был неудачно выбран возраст экспериментальных птиц (мы работали с уже довольно «немолодыми» птенцами — 60-, 90- и 120-дневного возраста, а бурса у птиц

ты покажут, какое предположение верно. Пока же можно утверждать, что открытие «клеток-нянек» поможет определить этапы созревания лимфоцитов и выяснить причины существования множественных клонов этих клеток.

<sup>2</sup> Wekerle H., Kettelsohn U. — *Nature*, 1980, v. 283, p. 402.

<sup>3</sup> Ritter M., Sauvage S., Coftmore S. — *Immunology*, 1981, v. 44, p. 439.

## К. Ф. Вольф — основоположник современной эмбриологии

**А. Е. Гайсинович,**  
доктор биологических наук  
Москва

В этом году исполнилось 250 лет со дня рождения Каспара Фридриха Вольфа, члена Петербургской Академии наук, родоначальника современной эмбриологии. Эмбриональным развитием интересовались еще в глубокой древности, об этом говорят дошедшие до нас сочинения Гипократа (V в. до н. э.) и Аристотеля (IV в. до н. э.). Однако предложенный ими метод изучения день за днем развития куриного зародыша нашел последователей лишь спустя 2 тыс. лет, в эпоху Возрождения. Античную традицию изучения эмбрионального развития куриного яйца возродили итальянские натуралисты и анатомы У. Альдрованди (1600) и И. Фабриций (1621). Блестящего успеха в создании учения о кровообращении достиг ученик Фабриция великий Гарвей. Но его многолетние эмбриологические исследования, опубликованные в 1651 г., не смогли закрепить провозглашенного им учения об эпигенезе (учения, которое утверждало подлинное развитие зародышей живых организмов) и потому не оказали решающего влияния на развитие эмбриологии<sup>1</sup>.

Господствовавшее в XVII—XVIII вв. учение о преформации, согласно которому в зародыше изначально заложен целиком весь будущий организм, в своем развитии лишь уплотняющийся и увеличивающийся в размерах, приостановило эмбриологические исследования более чем на 100 лет. На таких позициях стояли крупнейшие авторитеты в биологии XVIII в. А. Галлер (1708—1777) и Ш. Боннэ (1720—1793).

Учение о преформации было органически связано с креационизмом, т. е. с отрицанием всякого исторического развития организмов. Их объединяла гипотеза «вложения», по которой все организмы были преобразованы в половых зачатках

первых живых существ, созданных при творении мира. Иначе было бы необходимо допустить акт творения при каждом зарождении все новых и новых живых существ. Поэтому для признания исторического развития органического мира нужно было опровергнуть учение о преформации. Такое опровержение и дал К. Ф. Вольф, обосновав его своими наблюдениями за развитием растений и животных. Как писал Ф. Энгельс, «...К. Ф. Вольф произвел в 1759 г. первое нападение на теорию постоянства видов, провозгласив учение об эволюции»<sup>2</sup>.

В середине XVIII в. накопившиеся факты о процессах регенерации, тератогенеза и наследственности побудили П. Мопертюи (1698—1759) и Ж. Бюффона (1707—1788) вернуться к учению об эпигенезе, основанном на чисто гипотетических допущениях существования частиц органов (1744) и «органических молекул» (1749), формирующих зародыш в результате действия сил притяжения и отталкивания. Подобные концепции отражали влияние на биологию XVIII в. учения И. Ньютона о всемирном тяготении<sup>3</sup>. Таково было положение

<sup>2</sup> Энгельс Ф. Дialeктика природы. М., 1975, с. 14—15. Мне представляется, что такой перевод слова *Abstammungslehre*, употребленного Ф. Энгельсом, не адекватно выражению «учение об эволюции», принятому в изданиях «Дialeктики природы» после 1950 г. и менее соответствующим смыслу его фразы. Этому смыслу более соответствует первоначальный перевод слова Энгельса как «учение об их развитии» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. М., 1931, т. XI, с. 483). Как явствует из фразы, предшествующей характеристике заслуги Вольфа, Энгельс опирался в ней на «поразительный параллелизм, существующий между историей развития органического мира в целом и историей развития отдельного организма», т. е. на биогенетический закон Э. Геккеля, провозглашенный им в 1866 г.

<sup>3</sup> Подробнее об этом см.: Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф и учение о развитии организмов (в связи с общей эволюцией научного мировоззрения). М., 1961, гл. VI.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Гайсинович А. Е. Уильям Гарвей, физиолог и эмбриолог. — Природа, 1978, № 10, с. 105.

ние в биологии, когда Вольф заинтересовался проблемой развития живых существ.

Вольф родился в Берлине, в семье портного, 18 января 1734 г.<sup>4</sup> Сначала он окончил Медико-хирургическую коллегию в Берлине, готовившую военных врачей, а затем медицинский факультет университета в г. Галле. По окончании университета в 1759 г. Вольф опубликовал свою диссертацию «Теория зарождения» (*Theoria generationis*), в которой обосновал учение об эпигенезе прямыми наблюдениями над развитием растений и животных, опровергнув тем самым учение о преформации.

Вопрос об источниках и влияниях, определивших взгляды Вольфа и его интерес к эмбриологии, изучен сравнительно мало. Ведь не можем же мы согласиться с мнением В. Вальдейера, что «у людей такого склада, как Вольф, нечего особенно задаваться вопросом о влияниях; подобные люди находят свой собственный путь и ставят перед собой задачи сами!»<sup>5</sup>. У нас есть все основания считать, что интересы и представления Вольфа были подготовлены его современниками. Ведь в годы его учения в Берлине основателем и президентом Берлинской Академии наук был Мопертюи, чьи эпигенетические взгляды нашли сторонников и среди немецких академиков. На эпигенетических позициях стоял ныне забытый Иоганн Эллер (1689—1760), возглавлявший тогда Медико-хирургическую коллегию. От него Вольф мог получить не только импульсы к изучению явлений развития, но и общие эпигенетические представления.

В своей «Теории зарождения» Вольф поставил перед собой цель познать «законы органических тел». Столь грандиозную задачу он пытается решить, последовательно рассмотрев «зарождение растений», «зарождение животных» и, наконец, «общие законы зарождения органических тел». Для нас теперь очевидно, что все эти проблемы не только не могли быть им разрешены, но самая универсальность и глубина постановки их наложила свой отрицательный отпечаток как на сделанные выводы, так и на реакцию его современников.

Выбрав растения первым объектом своих исследований, Вольф рассчитывал,



КАСПАР ФРИДРИХ ВОЛЬФ.

18.I 1734 — 22.II 1794.

Силуэт работы художника Антинга 1784 г.  
Единственный сохранившийся портрет Вольфа.

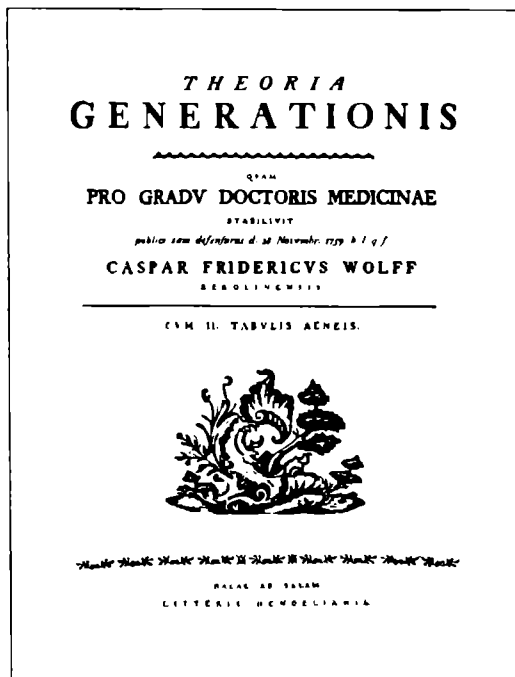
что у них будет проще вскрыть закономерности роста и развития. Рост и развитие растений Вольф изучал при помощи простого микроскопа, дававшего слабые увеличения. Неудивительно поэтому, что его утверждения о строении растений и сущности процессов питания и роста были примитивны и ошибочны.

Он полагал, что клетки и сосуды возникают из соков, поступающих в растения. Эти соки образуют либо пузырьки (*vesicula*), либо каналы. Последующее испарение воды, вызывающее загустение соков, приводит к образованию клеток из пузырьков и сосудов из стенок каналов. Таким образом, для Вольфа питание растений сводится к поступлению соков и их затвердеванию; последнее, по мнению Вольфа, не нуждалось в дальнейшем объяснении. Поступление соков определяется движением; следовательно, рассуждает Вольф, существует сила, его обеспечивающая. На первых порах Вольф не решается отождествлять эту силу с известными тогда физическими силами, например притяжением. Поэтому он называет ее «существенной» (*vis essentialis*), т. е. достаточной, эффективной для осуществления этого процесса, дальше не углубляясь в ее сущность.

Объяснив, таким образом, питание у растений, Вольф обращается к следующему этапу развития — произрастанию

<sup>4</sup> Точная дата его рождения была установлена лишь в 1920 г., когда обнаружили подлинную запись в церковной книге. До этого считалось, что он родился в 1733 г.

<sup>5</sup> Waldeyer W. Festrade (C. F. Wolff) — Sitzungsber. Preuß. Akad. Wiss., 1904, Bd. VI, S. 212.



Титульный лист диссертации К. Ф. Вольфа «Теория зарождения» [1759].

(vegetatio), исследуя развитие сложных частей растений (т. е. стеблей, листьев и цветков). И здесь он делает свое первое принципиально важное открытие, обнаружив у вершины каждого растущего побега особую «точку или поверхность роста» (punctum sive superficies vegetacionis).

До Вольфа процесс разветвления (evolutio) почки листа или цветка был классическим примером преформации. Полагали, что в почках уже сформированы все будущие части растения, которые лишь уменьшены и свернуты (partes involutae). По аналогии с растением представляли так же процесс метаморфоза насекомых и развитие зародыша животных. Утверждение Вольфа, что внутри всякой листовой почки нет «сколько-нибудь заметных листьев», а налицо лишь «внутренняя субстанция растения», порождающая из себя зачатки листьев, стало исходным пунктом нового принципа развития.

Ни в молодых листьях, ни в зачатках цветка и семени Вольф не находит никаких сосудов и клеток. Это крайне важно для характеристики взглядов Вольфа. Перед нами так называемый абсолютный эпигенез, вполне продуманный и сформулированный

как «всеобщий закон образования органических тел», который гласит: «Всякое органическое тело или часть органического тела создается сначала без органической структуры и затем делается органическим»<sup>6</sup>. Поэтому нет основания рассматривать Вольфа как одного из основоположников клеточного учения.

Вольфу казалось, что он объяснил все процессы питания, роста и развития растений на основе допущения всего двух факторов: 1) «существенной силы», 2) способности затвердевания (солидесценции).

Затем Вольф решает применить свою теорию для выяснения причин плодобразования, наступающего регулярно у всякого растения. Исследовав «историю цветка», Вольф обнаруживает, что последовательно появляющиеся части цветка все более и более отходят в своей форме от листьев. Здесь Вольф впервые намечает принципы своего учения о развитии цветка, рассматривая его как превращение листьев. Окончательно учение Вольфа о метаморфозе листьев было сформулировано в его петербургской работе 1767 г. Иногда думают, что Вольф лишь уточнил в этом учении то, что было уже известно до него. Еще чаще на первое место ставят учение И. В. Гете о метаморфозе (1790). Однако ни то, ни другое не справедливо. Ни предшественники Вольфа (А. Цезальпин, И. Юнгий, Н. Грю, М. Мальпиги), ни впоследствии Гете не обнаружили подлинного метаморфоза в развитии, а лишь высказывали предположения на основании сравнения закончивших развитие взрослых частей растения с развитием листа. Вот почему учение о метаморфозе Вольфа есть учение о реальном развитии, а учение Гете — в большей степени абстрактная концепция.

Общая «теория зарождения», установленная на растениях, была распространена Вольфом и на развитие животных. Это имело свои отрицательные последствия. Вольф долго не замечал всех натяжек, к которым приводил этот механический перенос.

Свои наблюдения за развитием животных Вольф проводил на курином яйце. Он пытался обнаружить состояние зародыша «до начала развития». Если верна была его «теория зарождения», установленная на растениях, то и тут сначала должна быть лишь «жидкая неорганизованная субстанция». Как известно, в неснесенном курином

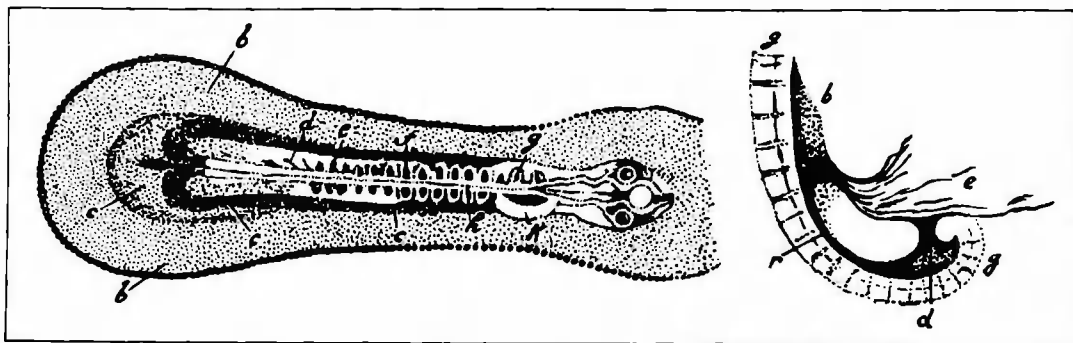
<sup>6</sup> Вольф К. Ф. Теория зарождения. М., 1950, с. 153.



яйце обнаружить «начало развития» невозможно. Оплодотворенное куриное яйцо начинает развиваться еще в яйцеводе. Но для примитивной микроскопической техники Вольфа, работавшего преимущественно с лупой при малых увеличениях, достаточно было и картины ненасыщенного яйца. Здесь, к полному торжеству Вольфа, он увидел, что «в массе... состоящей из многочисленных мелких шариков, едва-едва сцепленных и просто сбившихся в кучу, — в массе прозрачной, подвижной, близкой к жидкости, нельзя усмотреть ни сердца,

жить образование «кровяных островков», которые затем превращаются в кровь и кровеносные сосуды. При всей примитивности описаний Вольфа это были верные наблюдения, и, естественно, они произвели на него огромное впечатление: «...я считаю, что захватил природу в тот самый момент, когда она была занята выполнением высочайшего акта, а именно преобразованием вяло двигающейся в промежутках островов жидкости в быстро бегущую по сосудам кровь»<sup>9</sup>.

Наблюдая «рост» частей зародыша,



Фрагменты рисунков К. Ф. Вольфа из диссертации «Теория зарождения». Слева — 36-часовой зародыш цыпленка: b — полость оболочки зародыша; h — спинной мозг; c — субстанция, состоящая из чрезвычайно мелких шариков, окружающая позвоночный столб; d, e, f, g — позвонки; k — сердце; справа — нижняя часть позвоночника из 5-дневного яйца: b — клеточная субстанция, дающая первые зачатки почек; d — клеточная субстанция, дающая первые зачатки прямой кишки, e — остатки мочевого мешка и оболочки пупочных сосудов, g — позвоночник, r — нижняя конечность.

ни сосудов, ни каких бы то ни было признаков красной крови»<sup>7</sup>.

Вольф категорически отвергает предположение, что эти органы просто еще «не видны». Почему же видны «составные части» этих органов — шарики, «доступные микроскопу даже средней увеличительной силы»? «Итак, басни — все эти скрытые за своей бесконечной малостью и затем постепенно открывающиеся взору части!»<sup>8</sup>

Внимание Вольфа сосредоточивается далее на «истории пупочного поля» (area vasculosa), где ему удается обнару-

Вольф прослеживает процесс образования конечностей и первичных почек: из «легкой субстанции» формируются очертания будущей стенки тела; эта субстанция принимает характер «клетчатой», и на ней образуются «выступы — первые элементы конечностей». Между бугорками будущих конечностей Вольф обнаруживает образующиеся постепенно «овальные тельца, точно ограниченные, с гладкой поверхностью и с тонкими спускающимися вниз, в кишку, нитями». Это, по Вольфу, — почки с мочеточниками. Вольфу осталось неизвестным, что он обнаружил лишь временно функционирующие, эмбриональные «первичные» почки, заменяющиеся затем окончательной «вторичной» почкой. Впоследствии открытые Вольфом первичные почки были названы в честь него Вольфовыми телами, а протоки — Вольфовыми протоками.

Таковы, вкратце, наблюдения Вольфа, позволившие ему отвергнуть теорию преформации и говорить о подлинном развитии растений и животных.

Общебиологические представления Вольфа, созданная им теория «органических тел», излагаемая в третьей части «Тео-

<sup>7</sup> Там же, с. 112.

<sup>8</sup> Там же, с. 113.

<sup>9</sup> Там же, с. 120.

рии зарождения», в настоящее время представляет лишь исторический интерес. Однако для понимания исходных теоретических позиций Вольфа в них необходимо хотя бы вкратце разобраться.

Вольф стоял на антимеханистических позициях. Это было отражением того разочарования в картезианском мировоззрении, которое охватило тогда всю Европу. Столь популярные в XVII в. ятромеханика и ятрохимия и основанные на них школы «механической медицины», рассматривавшие живые существа в качестве механико-гидравлических машин, действующих автоматически под влиянием неких флюидов, движущихся в сосудах, не могли объяснить ряд сложных явлений нервно-мышечной физиологии, а также обмена веществ. Реакцией на «механическую медицину» была теория анимизма Г. Штала (1660—1734), пропагандировавшаяся им в конце XVII — начале XVIII в. с кафедры университета в Галле. В своих воззрениях на взаимоотношения «души» и тела Шталь исходил из эмпирических наблюдений о влиянии психики на физиологические отправления в здоровом и больном организме. В этом смысле «душу», по Шталю, можно было рассматривать как причину движения живых тел и изменений в них.

По заявлению Вольфа, теория Штала оказала на него определенное влияние. Однако мы не находим у Вольфа подобного понятия души. Вместо нее фигурирует «существенная сила». Стало твердой традицией считать «существенную силу» Вольфа виталистическим понятием<sup>10</sup>. Но представления Вольфа не следует рассматривать сквозь призму позднейших виталистических идей о «жизненной силе». В эпоху Вольфа понятие «силы» было новым и необычным в отношении не только жизненных процессов, но и чисто физических явлений. Динамическое мировоззрение только что стало внедряться в сознание людей. Поэтому Вольф для обоснования своей «существенной силы» всячески подчеркивает, что он не собирается вводить какую-то другую, особенную силу, принципиально отличающуюся от известных физических сил движения тел. Вольф уверяет, что это «уже давно знакомая многим (хотя и не в качестве принципа зарождения) двигательная сила». Эта сила не что иное, как «фактор распределения жидкостей в растении и их осаждения».

Против виталистического истолкования понятия существенной силы протестовал позже сам Вольф в своем оставшемся неопубликованном разъяснении: «...я менее всего подразумеваю под существенной силой образовательную силу или формирующую способность, но просто имею в виду ту силу, под действием которой жидкость продвигается по растению», и, отклоняя отождествление его существенной силы с «пластическими силами» древних и с «образовательным стремлением» Блументаха, Вольф уверяет, что «если изгнать термин «существенная сила» из теории генерации, то... остаются в силе все данные мною объяснения относительно формирования отдельных частей растения...» Называя «клеветой» подобную интерпретацию его понятий о существенной силе, в распространении которой Вольф обвиняет Галлера, он констатирует: «Впрочем, к этому великому мужу в дальнейшем примкнула толпа»<sup>11</sup>.

Более глубокое обоснование «существенной силы», которое Вольф дал в трактате, опубликованном в Петербурге в 1789 г., значительно приблизило его к физическому пониманию этой силы. Вольф определяет ее как особую «притягательную и отталкивательную» силу, которая свойственна всем частям живого тела. Различные жизненные процессы, в том числе чувствительность и сознание, Вольф пытается объяснить взаимоотношением «притягательных» и «отталкивательных» процессов.

Ошибочно понимая роль половых клеток в оплодотворении и отрицая их значение для последующего развития зародыша, Вольф бессилён был понять материальные и морфологические основы закономерностей развития организмов и их преемственности в смене поколений. Стихийно сознавая свое незнание истинных причин развития организма и его воспроизводства, Вольф в дальнейшем говорит о некоей «квалифицированной произрастающей материи», определяющей закономерности развития и наследственности. Однако эти его высказывания остались неопубликованными<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Вольф К. Ф. Предметы размышлений в связи с теорией уродов. М., 1973, с. 141—143.

<sup>12</sup> См. русский перевод рукописи «Распределение труда» в кн.: Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф и учение о развитии организмов, с. 526—533, а также: Вольф К. Ф. Предметы размышлений в связи с теорией уродов (перевод Ю. Х. Копелевич и Н. М. Лукиной). Б. Е. Райков, изучающий рукописи Вольфа еще до опубликования, обнаружил в них выска-

<sup>10</sup> См., напр.: Медников Б. М. Аксиомы биологии. М., 1982, с. 27.

Таким образом, несмотря на то что Вольф отвергал «механическую медицину», он пытался противопоставить ей навеянную успехами динамического естествознания не менее механистическую теорию.

Как известно, диссертация Вольфа не сразу завоевала признание. Это объясняется отнюдь не тем, что диссертация осталась неизвестной при его жизни. Знаменитый Галлер полемизирует с ней в письмах и печатно. Она упоминается в ряде сочинений того времени<sup>13</sup>.

Однако именно тогда теория преформации переживала новый подъем. К середине XVIII в. были сделаны новые открытия, истолкованные как блестящее доказательство учения о преформации. Ш. Боннэ обнаружил явления партеногенеза у тлей (1740—1745), а А. Трамбле описал размножение гидры почкованием (1741—1744), при котором на одном материнском организме можно наблюдать 5—6 поколений дочерних особей. В 60-е годы Л. Спалланцани описал размножение у *Volvox*, в шарообразном теле которого заключены одно в другом 3 и более поколений. Явления тотальной регенерации у гидры, червей и других животных, описанные Трамбле и Боннэ, также истолковывались в пользу преформации.

Неудивительно поэтому, что всякие доказательства и теории в пользу возникновения и развития организмов из неорганических и неорганизованных начал путем простого движения, нагревания, брожения и гниения принимались сторонниками преформации как ненаучные и фантастические. Нельзя «приписывать развитие чисто механическим причинам, как будто животное имеет такое же происхождение, как и сыр», — пишет Боннэ. Хорошо известны другие высказывания Боннэ и Галлера, иллюстрирующие абсурдность возможного возникновения того органического целого, каким им представляется живое тело, из простого сочетания частей или молекул «по неизвестным нам законам».

Конечно, молодому начинающему ученому, каким был в то время Вольф, не под силу было преодолеть господствовавшие в науке воззрения, поддержи-

вавшиеся крупнейшими авторитетами. Тщетно пытался Вольф получить место профессора в Медико-хирургической коллегии. Блестящие полемические лекции Вольфа и памфлет, выпущенный им в 1764 г., в котором он резко критикует теорию преформации, окончательно останавливают против его кандидатуры профессору Медико-хирургической коллегии. Вольфу не удается устроиться и в ряде других университетов.

Вольф был сильно подавлен и даже напуган приемом, оказанным его теории. Дело в том, что Галлер в конце концов заявил Вольфу, что его теория эпигенеза неприемлема и с точки зрения религии. Что Вольфу было действительно не до шуток, свидетельствует решение больше не полемизировать, о чем он сам вспоминает в 1789 г.: «Я решил тогда более не прекословить этому великому и достойному уважения человеку». Одним словом, Вольф был близок к полному отчаянию, если бы не спасение, пришедшее из далекой России.

Вольф был приглашен Петербургской Академией наук по инициативе Леонарда Эйлера, переехавшего в 1766 г. в Россию. Теперь нам понятно, что этот выбор Эйлера не был случайным и определялся его научными симпатиями и хорошим знакомством с книгами Вольфа.

В мае 1767 г. Вольф прибыл в Петербург, где он и провел последние 27 лет своей жизни. Это был плодотворнейший период его творчества. В России Вольф публикует многочисленные работы, и в первую очередь свое классическое исследование «О развитии кишечника у цыпленка» (1767—1768). Эту работу К. Бэр назвал «величайшим мастерским трудом среди когда-либо появлявшихся в области описательного естествознания». И действительно, это детальнейшее исследование, по духу своему резко отличающееся от его «Теории зарождения». Оно почти не содержит произвольных построений. Это строго научный трактат. Лишь в начале и в конце его Вольф останавливается на общих вопросах своей теории. Умудренный неудачей, постигшей его диссертацию, Вольф крайне осторожен в обобщениях и не упоминает вовсе ни «существенной силы», ни «способности затвердевания». Но зато он дает в обобщенной форме свое учение о метаморфозе растения. Однако теперь уже Вольф не пытается механически перенести теорию зарождения растений на животных. Лишь в отношении конечностей животных Вольф допускает, что

звания о явлениях изменчивости и наследственности. Однако его интерпретация этих взглядов Вольфа спорна. Подробнее см.: Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф и учение о развитии организмов, с. 438 и сл.

<sup>13</sup> Письма Вольфа к Галлеру опубликованы в русском переводе в упомянутой книге: Гайсинович А. Е. К. Ф. Вольф и учение о развитии организмов, с. 509—525.

они подобны стеблям и листьям у растений и поэтому они развиваются сходно, путем «произрастания». Возникшая из этого сравнения аналогия развития с образованием листовой пластинки настолько, по-видимому, казалась ему наглядной, что Вольф и в дальнейшем, при описании развития зародыша, прибегает к ней уже постоянно.

Еще чаще Вольф применяет выражение просто «пластинка» или «пленка» (membrana) без отождествления с листом. Он обнаруживает поразительное сходство в способах развития совершенно различных органов животного: кишечника, зачатков головного и спинного мозга, а также других частей. В итоге он приходит к такому обобщенному выводу: «При зарождении животных представляется, таким образом, что одно и то же действие многократно повторно продлевается». Вольф следующим образом формулирует это «действие»: «...часть, которая в законченном виде имеет внутреннюю полость или же представляет трубку или резервуар, в своем первоначальном состоянии была открытой и растянутой в виде известного рода простой пластинки, края которой были понуждены к складыванию друг с другом для образования цельного канала»<sup>14</sup>.

Так поднимается Вольф на новую ступень в познании эмбрионального развития животных. На основании этой «в высшей степени поразительной аналогии частей» последовательно образуются различные «системы» органов животного. «Системой, образующейся первой и принимающей первой определенную и своеобразную форму, является нервная система. Когда она завершается, образуется масса тела, которая, собственно, и составляет зародыш... Затем появляется третья, сосудистая система... За нею следует четвертая, кишечный канал, который снова образуется по тому же типу и возникает подобно тем первым системам как совершенное, законченное целое»<sup>15</sup>.

Вольф неустанно повторяет, что обнаруженная им закономерность развития является «основным доказательством эпигенеза». Вот как он здесь формулирует позиции эпигенеза: «Образование органических тел вообще предоставлено одним природным силам, обитающим в животной или растительной материи». Однако, вспоминая, вероятно, серьезное предупреждение Галлера, а может быть, под давлением

академической обстановки, Вольф спешит добавить: «Однако материя такого рода, снабженная подобной силой, была сотворена из ничего непосредственно Богом»<sup>16</sup>. Это единственный случай, когда Вольф в своих сочинениях говорит об акте творения. И, скорее всего, его вынуждает к этому страх за свое только что упрочившееся положение.

Теперь Вольф не берется решать, какие факторы определяют развитие. «Я не говорю, что это образование происходит путем какого-то взаимодействия частиц, неким родом брожения, по механическим причинам, благодаря деятельности души, — но лишь то, что оно происходит»<sup>17</sup>.

После этой работы Вольф не публиковал больше чисто эмбриологических трудов. Помимо большого числа анатомических исследований и теоретического трактата «О своеобразной и существенной силе» (1789), основное внимание Вольф сосредоточил на изучении уродств. Для Вольфа отклонения в нормальном развитии стали неотразимым доказательством учения об эпигенезе, поскольку только с этих позиций можно было объяснить появление всевозможных новообразований в зародыше под влиянием внутренних и внешних причин. А для изучения уродств в распоряжение Вольфа в Петербурге был предоставлен богатейший материал. Он хранился в Кунсткамере, созданной по инициативе Петра I, куда по его указам доставлялись все мертворожденные и живые уроды человека и животных. К моменту прибытия Вольфа в Петербург в Кунсткамере уже была собрана лучшая по тому времени коллекция уродов.

Вольф целиком погрузился в ее изучение. Он с увлечением зарисовывал и анатомировал уродов. Составленное им подробнейшее их описание заняло тысячу страниц до сих пор еще полностью не опубликованных рукописей. Он готовил огромный труд, посвященный теории возникновения уродов (Theoria monstrorum). В него, возможно, должна была войти в расширенном и переработанном виде и его «Теория зарождения», дополнения к которой мне удалось обнаружить и опубликовать в русском издании (1950).

Вольфу так и не удалось завершить и опубликовать свой грандиозный труд. Внезапная смерть от кровоизлияния в мозг

<sup>14</sup> Wolff C. F. Über die Bildung des Darmkanals im bebrüteten Hühnchen. Halle, 1812, S. 144.

<sup>15</sup> Ibid., S. 148.

<sup>16</sup> Ibid., S. 125.

<sup>17</sup> Ibid., S. 149.

преждевременно оборвала его жизнь 22 февраля 1794 г.

27 февраля Конференция академиков почтила память покойного, а в некрологе, между прочим, отметила: «Он принес в Академию уже установившуюся репутацию глубокого анатома и физиолога, репутацию, которую он укрепил и возвеличил в дальнейшем большим числом превосходных работ, помещенных в «Новых комментариях», «Актах» и «Новых актах» Академии. Он стал знаменитым уже благодаря своей глубокой диссертации о зарождении и тому спору, который он имел об этом с бессмертным Галлером, почтившим его, несмотря на расхождение в их мнениях, своим постоянным уважением и признанием. Любимый и почитаемый своими сотоварищами как за его познания, так и за прямоту и мягкость, он умер на 61-м году своей жизни к прискорбию всей Академии, деятельным и трудолюбивым сочленом которой он был в течение 27 лет»<sup>18</sup>.

Очень важно коснуться судьбы и смертной оценки трудов и заслуг Вольфа.

Весьма распространено мнение, будто Вольф и его труды были «забыты» вскоре после переезда его в Россию. Это не соответствует действительности.

Прежде всего отметим, что Вольф продолжал переписываться с Галлером вплоть до смерти последнего в 1777 г. Но не только Галлер неизменно обсуждал и критиковал работы Вольфа в своих трудах, но и Боннэ откликнулся на них в примечаниях к своим сочинениям, изданным в 1779—1783 гг. О работах Вольфа, опубликованных в России, сообщает в письме к Боннэ не кто иной, как Эйлер, который заявляет, что на основании этих работ он «больше, чем когда-либо — за гипотезу эпигенеза».

Идеи Вольфа пропагандирует преемник Галлера по Геттингенскому университету И. Ф. Блуменбах (1752—1840) в своем неоднократно издававшемся памфлете «Об образовательном стремлении» (1781—1791). Этот труд имел значительно больший успех, чем произведения самого Вольфа, и имя Блуменбаха заслонило имя первого. К тому же Блуменбах придал теории Вольфа откровенно виталистический характер, заменив существенную силу неким «образовательным стремлением» (*Nisus formativus*). Через Блуменбаха с теорией эпигенеза знакомится И. Кант (1790) и присоединяется к ней.

Немецкий философ И. Г. Гердер цитирует диссертацию Вольфа в своем сочинении «Идеи к философии истории человечества» (1784—1785) и обращает на нее внимание Гете. Однако, по уверению самого Гете, его знакомство с книгами Вольфа состоялось несколько позже — в 90-х годах, уже после написания своего «Опыта метаморфоза растений» (1790). В 1817 г. Гете писал: «Так-то чужая нация открыто ценила и читала еще двадцать лет тому назад нашего отменного соотечественника, рано вытесненного из своей родины господствующей школой, с которой он не смог сойтись, и я рад возможности признаться, что уже более 25 лет у него и на его примере учусь»<sup>19</sup>.

Окончательное признание открытия Вольфа получают лишь в начале XIX в., когда натурфилософское направление в Германии возбудило повышенный интерес к проблемам развития.

Попытки Л. Окена и других исследователей изучить развитие кишечника цыпленка дали толчок к ознакомлению с работой Вольфа, опубликованной в России, в трудах Петербургской Академии наук. Она была издана по-немецки в 1812 г. И. Ф. Меккелем-младшим, внуком того И. Ф. Меккеля-старшего, у которого учился в Берлине Вольф и который активно препятствовал назначению Вольфа на кафедру в Медико-хирургической коллегии.

Однако подлинными продолжателями идей Вольфа были русские академики Х. Пандер и К. Бэр, которые в первой трети XIX в. не только подтвердили его наблюдения над развитием куриного зародыша, но и обосновали учение о зародышевых листках. Истолкование этого учения в свете возникшей позднее клеточной теории дал на позвоночных животных Р. Ремак в 1855 г. Единство принципов эмбрионального развития позвоночных и беспозвоночных было доказано в работах А. О. Ковалевского и И. И. Мечникова (1865 г. и позже).

Таким образом, в основе возникновения в первой половине XIX в. эмбриологии лежали наблюдения К. Ф. Вольфа, работы которого открыли пути к изучению развития зародышей живых организмов.

Наша страна может гордиться тем, что она предоставила К. Ф. Вольфу возможность продолжить свои труды, заложившие в России славную традицию в развитии современной эмбриологии.

<sup>18</sup> Nova Acta Academiae Imp. Scientiarum Petropolitanae, 1801, t. XII (1794), p. 78.

<sup>19</sup> Гете И. В. Избр. соч. по естествознанию. М., 1957, с. 90.

## Жилище из костей мамонта на берегу Судости

**З. А. Абрамова,**  
доктор исторических наук  
Ленинградское отделение Инсти-  
тута археологии АН СССР

В Брянской области на берегу тихой речки Судости, левого притока Десны, раскинулось с. Юдиново. В его окрестностях еще в 1934 г. при рытье котлована для колхозного картофелехранилища было обнаружено поселение охотников на мамонта, относящееся к эпохе палеолита. Благодаря раскопкам, проведенным известным минским археологом К. М. Поликарповичем и его учеником В. Д. Будько в 1947 г. и в 1960-х годах, на поселении были найдены остатки жилищ, сложенных из костей мамонта. Полученные радиоуглеродным методом абсолютные даты свидетельствуют, что поселение существовало 15—13 тыс. лет назад, когда на территории Русской равнины господствовали суровые приледниковые условия. Достаточно сказать, что наряду с волосатым слоном-мамонтом здесь водились песцы и северные олени. Холодный климат заставлял людей искать убежища в вырытых в земле утепленных хижинах.

Исследования Юдиновского палеолитического поселения возобновились экспедицией Ленинградского отделения Института археологии АН СССР в 1980 г., и уже на следующий год удалось обнаружить остатки нового жилища. Оно имеет округлую форму в виде кольцевого ограждения, сложенного тоже из костей мамонта; его внешний диаметр 5 м, а толщина самого кольца в среднем 1 м. Таким образом, даже если учитывать, что часть костей могла завалиться внутрь сооружения в процессе его разрушения, жилая площадь остается небольшой, примерно около 9 м<sup>2</sup>.

В конструкции жилища широко применялись черепа мамонтов — их насчитывается 23. Они принадлежат животным



Раскопки Юдиновского палеолитического поселения. На заднем плане — остатки жилища с расчищенной его юго-восточной четвертью.

различных возрастов и размеров: от очень крупных старых до молодых в возрасте 1—2 лет. Часто рядом с черепом лежит и нижняя челюсть той же особи. Почти все черепа плохо сохранились, поскольку были опрокинуты затылочным отверстием вверх, чтобы, очевидно, использовать эти отверстия для закрепления опор перекрытия. Наряду с черепами в сооружении жилища применялись трубчатые кости, а также лопатки мамонта, причем почти всегда с пробитыми в тонком месте, а иногда и в гребне отверстиями, куда тоже могли вставляться жерди, образующие остов крыши.

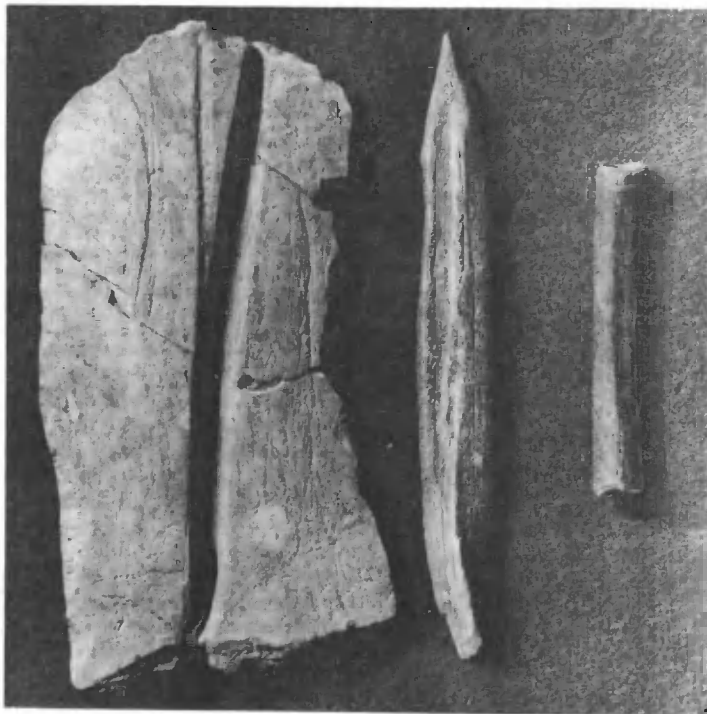
В южной части ограждения среди разных костей имеется сложное переплетение из семи бивней мамонта, направленных дугами вверх. При расчистке юго-восточной четверти жилища установлен весьма существенный факт: часть стенки сохранилась в первоначальном состоянии. В этом месте кольцевое ограждение состоит из трех черепов, которые опрокинута затылочными отверстиями вверх и поставлены один за другим по толщине стенки. У конца черепа, расположенного внутри, вкопано вертикально грудное ребро мамонта. По обе стороны от его верхнего конца в отдельных ячейках черепа намеренно уложены кремневые пластинки — шесть с одной стороны и две с другой. Эта находка неоспоримо свидетельствует, что данный череп служил хранилищем, причем остался он в неповрежденном, первоначальном положении, а не был опрокинут при разрушении стенки жилища.

В заполнении внутренней части жилища находятся отдельные кости мамонта. Они залегают в тонких, неопределенных по очертаниям углистых прослойках, которые образовались, по-видимому, когда жилище было уже оставлено, при размыве мощной очажной линзы, расположенной у внешней южной стороны кольцевого ограждения. Среди многочисленных культурных остатков в заполнении особенно выделяются кости песка. Встречаются черепа, как полностью сохранившиеся — с нижними челюстями, так и отдельно от них. Длинные кости конечностей песка часто намеренно раз-

резаны; эпифизы отделены, чтобы получить ровные полые трубочки диафизов, которые могли служить пронизками или игольниками.

Как в жилище, так и за его пределами собрано много ка-

Некоторые из этих предметов покрыты резным геометрическим орнаментом. Среди других орудий привлекает внимание «молоток» из рога северного оленя, костяные шилья и иглы, причем одна из игл — целая,



Пластина из бивня мамонта со следами продольного резания, костяное шило и пронизка из трубчатой кости песка.

тонкая, длиной 4 см — имеет прорезанное ушко и по своей форме и размерам ничем не отличается от современных стальных игл.

Большой интерес представляют украшения — крошечные плоские бусинки прямоугольных и овальных очертаний с прорезанными отверстиями. Они найдены и в законченном виде, и в виде обломков, и в виде заготовок. Использовались бусинки, по всей вероятности, как нашивки на одежду. В качестве украшений служили и мелкие раковины *Nassa reticulata*, доставленные сюда с берегов Черного моря или специально или, что более вероятно, в результате многоступенчатого обмена. Таким образом, новые исследования Юдиновского палеолитического поселения существенно пополняют наши знания о повседневной жизни древних охотников на мамонта.

Большой интерес представляют украшения — крошечные плоские бусинки прямоугольных и овальных очертаний с прорезанными отверстиями. Они найдены и в законченном виде, и в виде обломков, и в виде заготовок. Использовались бусинки, по всей вероятности, как нашивки на одежду. В качестве украшений служили и мелкие раковины *Nassa reticulata*, доставленные сюда с берегов Черного моря или специально или, что более вероятно, в результате многоступенчатого обмена.

Таким образом, новые исследования Юдиновского палеолитического поселения существенно пополняют наши знания о повседневной жизни древних охотников на мамонта.

## Развитие голографии как нового научного направления

Ю. Н. Денисюк, В. А. Гуриков



Юрий Николаевич Денисюк, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией голографии Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (Ленинград). Один из основоположников голографии, предложил принципиально новый способ записи голограмм в трехмерных средах. Научные исследования посвящены физической и прикладной оптике, в основном — голографии. Лауреат Ленинской премии (1970) и Государственной премии СССР (1982). В 1983 г. Ю. Н. Денисюку присуждена международная премия им. Д. Габор (совместно с американским физиком Э. Лейтом). В «Природе» опубликовал статьи: Образы внешнего мира (1971, № 2); Голография — что мы знаем о ней сегодня (1981, № 8).



Владимир Александрович Гуриков, кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР. Работает в области истории прикладной оптики и оптического приборостроения. Автор монографий: Возникновение и развитие оптико-электронного приборостроения. М., 1981; Становление прикладной оптики. XV—XIX вв. М., 1983. В «Природе» опубликовал статью: Первый ахроматический микроскоп (1981, № 6).

Подавляющее число оптических приборов имеет дело с изображениями, полученными в результате регистрации распределения только интенсивности света в некоторой плоскости. Между тем довольно часто ценность представляет вся информация об объекте, а в ряде случаев — преимущественно его фазовые (т. е. пространственные), спектральные или поляризационные характеристики. Получить такую информацию позволила голография, появление которой кардинально изменило и само представление об изображении объекта.

За прошедшие два десятка лет голография превратилась в развитую область науки и техники, достаточно автономную и в то же время активно связанную

с другими отраслями, как в смысле использования их последних достижений, так и в смысле своих многочисленных, часто весьма неожиданных приложений. Быстрое развитие голографии вызвано прежде всего созданием лазеров и последовавшим за этим прогрессом в области когерентной оптики. Таким образом, на наш взгляд, голография является достаточно характерным примером того, как в наши дни зарождается и развивается новое направление исследований.

### ПРЕДЫСТОРИЯ ГОЛОГРАФИИ

Предпосылки для получения голографических изображений возникли, по-ви-



димому, еще в XVII в., когда великий голландский физик Х. Гюйгенс предложил свой знаменитый принцип<sup>1</sup>. Применительно к голографии из принципа Гюйгенса, в частности, следует, что для воспроизведения в пространстве волнового поля света достаточно знать значения параметров этого поля на какой-либо поверхности. Сведение проблемы к воспроизведению поверхностных волновых полей существенно упростило положение, однако даже для осуществления этой гораздо более простой операции потребовалось свыше 200 лет... Первые наиболее существенные шаги в этом направлении были сделаны в начале XIX в. англичанином Т. Юнгом и французом Ж. О. Френелем, их работами по интерференции и дифракции света. Эти работы, собственно говоря, уже заложили теоретические основы голографии, и открытие голографии, по-видимому, могло быть сделано и Юнгом, и Френелем.

Следующим важным этапом в развитии интересующего нас круга представлений были выполненные в конце прошлого — начале нынешнего столетия работы немца Э. Аббе, француза Г. Липпмана, англичанина У. Л. Брэгга, голландца Ф. Цернике и поляка М. Вольфке. В своей нобелевской лекции изобретатель голографического способа записи изображений английский физик Д. Габор говорил в 1971 г.: «Выдвигая свое предложение, я опирался на работы двух крупнейших физиков — Уильяма Брэгга и Франца Цернике. Несколькими годами раньше Брэгг показал мне «рентгеновский микроскоп», который представлял собой оптическое устройство, выполняющее преобразование Фурье. Если в такое устройство поместить небольшую фотогравю обратную решетку, то на экране можно получить проекцию распределения концентрации электронов, правда, только для некоторых исключительных случаев, когда значения всех фаз действительны и имеют один и тот же знак. В то время ни я, ни Брэгг не знали, что Мечислав Вольфке предложил этот же метод еще в 1920 г., но не реализовал его экспериментально»<sup>2</sup>.

Итак, что же было сделано в работах Вольфке, Брэгга и Цернике? В 1920 г. М. Вольфке, известный в науке, в частности, тем, что он совместно с В. Кеезом открыл существование гелия I и II, опубликовал статью «О возможности оптического изображения молекулярной решетки». Он рассуждал следующим образом: «Чтобы создать изображение какой-либо системы атомов, необходимо пучки излучения, которые подверглись дифракции на атомах и образуют так называемое первичное изображение, сфокусировать с помощью линзы и создать вторичное изображение, т. е. истинное. Для этой цели необходимо использовать излучения с очень короткой длиной волны по сравнению с размерами атомов, чтобы каждый атом давал собственное дифракционное изображение. Однако, с другой стороны, столь коротковолновое излучение невозможно сфокусировать ни с помощью линзы, ни с помощью зеркал. Поэтому процесс создания изображения необходимо разделить на два отдельных процесса: образование первичного дифракционного изображения с помощью рентгеновских лучей и фотографирование его, и последующее использование диапозитива в роли первичного изображения, т. е. просвечивание его видимым монохроматическим светом и фокусирование прошедшего и отклоненного света с помощью линзы, что в результате дает вторичное и, следовательно, истинное изображение»<sup>3</sup>. Таким образом, Вольфке предложил использовать первичную рентгенограмму в качестве дифракционной решетки для световых волн.

Необходимо отметить, что идея двухступенчатого преобразования изображения применительно к микроскопу была высказана еще в 1873 г. немецким оптиком Э. Аббе. Согласно теории Аббе, изображение в микроскопе получается двумя последовательными этапами: образованием дифракционной картины в фокальной плоскости по методу Й. Фраунгофера и образованием из отклоненных пучков оптического изображения в сопряженной плоскости.

Опираясь на дифракционную теорию Аббе образования изображения в микроскопе, Вольфке формулирует следующую теорему: «При монохроматическом, параллельном освещении дифракционное по-

<sup>1</sup> Денисюк Ю. Н. Гуриков В. А. Голография: прошлое, настоящее, будущее.— Доклад на XVI Международном конгрессе по истории науки. Бухарест, 1981 (см.: *Вопр. истории естествозн. и техники*, 1981, № 4, с. 70); Гуриков В. А. Возникновение и развитие оптико-электронного приборостроения. М., 1981.

<sup>2</sup> Габор Д. Голография (1948—1971 гг.) — *Усп. физ. наук*, 1973, т. 109, вып. 1 с. 8.

<sup>3</sup> См.: Пекара А. Новый облик оптики. Введение в квантовую электронику и нелинейную оптику. М., 1973, с. 240.

ле дифракционной картины симметричного объекта без фазовой структуры тождественно изображению этого объекта». Эта теорема была проверена Вольфке экспериментально. С сожалением приходится констатировать, что упомянутые исследования Вольфке, как это часто бывает в науке, не обратили на себя должного внимания и не оказали практически никакого влияния на развитие голографии.

На идею голографии Д. Габора натолкнули в конце 40-х годов работы У. Л. Брэгга-младшего, в то время директора Кавендишской лаборатории в Кембридже, лауреата Нобелевской премии, которой он удостоен в 1915 г. вместе с отцом У. Г. Брэггом за работы в области рентгеновской кристаллографии (вспомним знаменитое условие Вульфа — Брэггов). В годы второй мировой войны, продолжая эти работы, он сумел «визуализировать» рентгеновское дифракционное изображение кристалла (так называемую лауэграмму), перевести его в оптическое изображение, дающее истинную структуру кристаллической решетки.

Для этого, как и Вольфке, Брэгг применил двухступенчатый метод. Лауэграмма снималась на металлической пластинке (покрытой фотоземлемой), и в местах дифракционных максимумов были просверлены отверстия, размеры которых соответствовали размерам дифракционных изображений. Полученный экран с отверстиями освещался (через соответствующую оптическую систему) монохроматическим источником света. При этом в фокусе оптической системы получалось дифракционное изображение отверстий, которое, в свою очередь, согласно сформулированной выше теореме Вольфке, является истинным оптическим изображением структуры кристалла. Впоследствии Брэгг заменил металлическую пластинку с отверстиями стеклянной фотопластинкой. Однако и в том и в другом случае, информация о фазе волны рентгеновского излучения, разумеется, терялась.

Использовать фазу световой волны удалось Ф. Цернике. В 1934 г. он поставил задачу: улучшить контрастность изображений прозрачных объектов при наблюдении их в микроскопе. За создание фазово-контрастного микроскопа в 1953 г. ему была присуждена Нобелевская премия.

Цернике рассуждал следующим образом: так как, согласно Аббе, изображение в поле зрения микроскопа образуется в результате интерференции рассеянных и невозмущенных лучей, то в зависи-

мости от величины разности фаз они могут взаимно усиливать или ослаблять друг друга и, таким образом, давать большую или меньшую освещенность в поле зрения.

В случае применения метода фазового контраста в объективе микроскопа устанавливалась специальная фазовая пластинка с кольцевым выступом. Апертурная диафрагма конденсора делалась в этом случае кольцевой и таких размеров, чтобы ее изображение, образуемое через конденсор и объектив, полностью укладывалось на фазовое кольцо. Невозмущенные лучи от осветителя полностью проходили через фазовое кольцо. Лучи же, достаточно широко рассеянные наблюдаемой частицей, проходили частью мимо фазового кольца, и оно почти не оказывало на них действия. Фазовое кольцо удлиняло или укорачивало путь невозмущенных лучей на  $\lambda/4$ , вследствие чего фаза равномерного фона изменялась на  $\pi/2$ . Очень слабые включения, которые представляли часто наибольший интерес для исследователей, в этом методе давали вместе с фоновым контрастную интерференцию, так как разность хода между невозмущенными лучами равна  $\lambda/2$  или 0. Метод фазового контраста был практически осуществлен впервые фирмой К. Цейсса. Для повышения эффективности использования метода фазового контраста в 40-х годах XX в. были разработаны новые конструкции фазовых колец, переменных по толщине и цвето-пропусканию.

Необходимо отметить, что именно использование Цернике информации о фазе оптического сигнала легло в основу разработанного Габором голографического метода.

## ГОЛОГРАФИЯ Д. ГАБОРА

В 1927 г. Д. Габор, только что окончивший Высшее техническое училище в Берлине, поступает на службу в лабораторию фирмы «Сименс», производящей электронную технику. Работая над катодной системой электроннолучевой трубки, он изобретает магнитную линзу. При этом Габор почти вплотную подходит к изобретению электронного микроскопа, появившегося после работ немецкого физика Буша и его ученика Вольфа.

И двадцать лет спустя, в 1947 г., Габора не покидала мысль об улучшении работы электронного микроскопа. Вспоминая события 1947 г., Габор писал: «В то время я очень интересовался электронным микро-

скопом. Это был удивительный прибор, который давал разрешение в сто раз лучше, чем оптический микроскоп, и тем не менее не оправдывал надежд на разрешение атомов кристаллической решетки. Длина волны де Бройля быстрых электронов (около  $1/20 \text{ \AA}$ ) была для этого достаточной, но электронная оптика оказалась довольно несовершенной. Наилучшая электронная линза, которая могла быть изготовлена, по оптическим характеристикам была сравнима с дождевой каплей, а не с объективом оптического микроскопа и, как показал

в 8 раз. Регистрируемое в этих условиях изображение получалось безнадежно размытым. После длительного размышления над этой проблемой я в один из прекрасных весенних дней 1947 г. неожиданно нашел ее решение...»<sup>1</sup>.

Таким образом, Габор столкнулся с необходимостью исправления сферической aberrации электронных линз. Поскольку способы исправления aberrаций обычных оптических линз хорошо известны, Габор, подобно Вольфке и Брэггу, предложил использовать двухступенчатый ме-

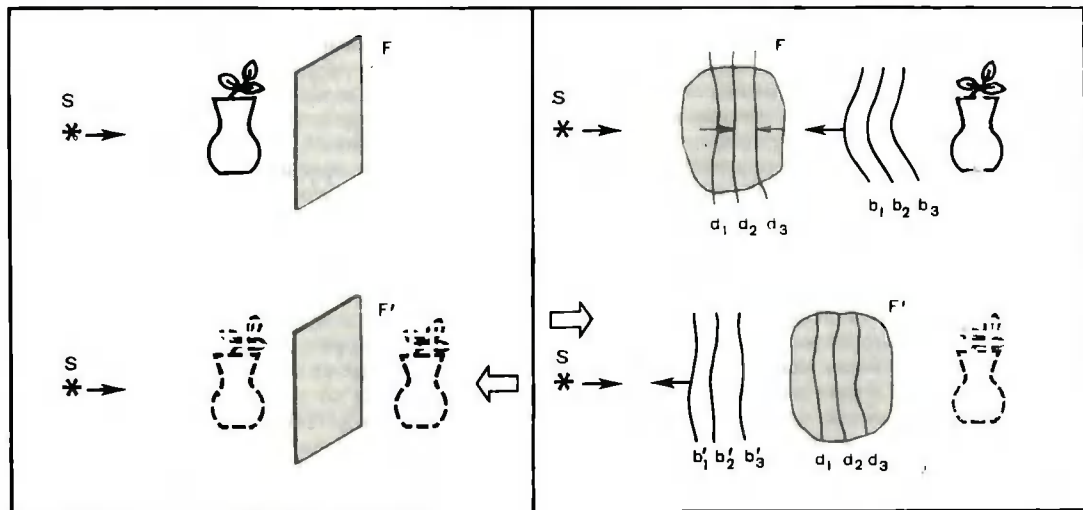


Схема получения (вверху) и восстановления (внизу) голограмм по методу Д. Габор (слева) и методу трехмерных голограмм (справа). S — источник света, F — фотографический слой, b и d — поверхности волнового фронта. Цветными стрелками показано направление, в котором наблюдается изображение.

Шерцер в своей теоретической работе, никогда не могла быть усовершенствована. Теоретический предел разрешающей способности электронного микроскопа оценивался в то время в  $4 \text{ \AA}$ , что было в два раза хуже величины, требуемой для разрешения атомов кристаллической решетки; на практике же достижимый предел не превышал  $12 \text{ \AA}$ . Эти пределы разрешающей способности электронного микроскопа вытекали из необходимости ограничивать угловую апертуру электронной линзы до нескольких миллирадиан. При такой апертуре сферические aberrации равнялись дифракционному пределу разрешения. Увеличение апертуры вдвое приводило к уменьшению дифракционного предела в два раза, но при этом сферические aberrации возрастали

тод: «перевести» поле электронных волн в оптический диапазон спектра, исправить у этой точной оптической модели сферическую aberrацию обычными методами, а затем «вернуться обратно». В процессе реализации этой, в общем весьма частной, задачи и была предложена голография.

Ход мысли Габор был весьма прост. На объект O падает излучение от источника S. За объектом располагается фотопластинка F, регистрирующая результат сложения излучения, рассеянного объектом (объектная волна), и излучения, которое попадает на фотопластинку, минуя объект (опорная, или референтная волна). В результате сложения этих волн возникает картина интерференции, т. е. появляются темные и светлые полосы. При этом, в соответствии со смыслом понятия «интерференция», светлые полосы располагаются там, где фазы волн источника и объекта совпадают, а тем-

<sup>1</sup> Габор Д. Цит. соч., с. 6.

ные — там, где они отличаются. Предположим, что фотопластинка зафиксировала интерференционную картину таким образом, что коэффициент пропускания полученной голограммы пропорционален интенсивности воздействующего на фотопластинку света.

Направим на полученную голограмму излучение того же монохроматического источника. Очевидно, что голограмма пропустит свет только в тех местах, где располагались максимумы интерференционной картины, т. е. там, где фазы волн от объекта и источника совпадали. В этих условиях голограмма как бы «выбирает» на поверхности фронта волны источника такие места и пропускает их сквозь себя. Таким образом, приблизительно на половине площади голограммы будет воспроизведена объектная волна. То, что голограмма не воспроизводит поле объекта на месте темных полос картины интерференции, приводит к некоторой неоднозначности воспроизведения фазы, в результате которой появляется ложное изображение объекта.

В схеме Габора лучи, образующие истинное и ложное изображения, распространялись вдоль одной оси, и поэтому оба эти изображения были искажены взаимной интерференцией. В силу этого, а также из-за отсутствия источников когерентного излучения — лазеров — о возможности использования голографии в изобразительной технике в то время даже не упоминалось — метод развивался исключительно в применении к задачам электронноструктурного и рентгеноструктурного анализа.

### ГОЛОГРАФИЯ С ЗАПИСЬЮ В ТРЕХМЕРНЫХ СРЕДАХ

Дальнейший прогресс в области голографии был связан с отрывом от идеи воспроизведения волнового поля на поверхности и переходом к так называемым трехмерным голограммам.

В 1958—1962 гг. одним из авторов настоящей статьи были проведены исследования, основным результатом которых было обнаружение так называемого явления отбражения оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения<sup>1</sup>. Сущность этого явления заключалась в том, что трехмерная фотографи-

ческая модель картины стоячих волн, возникающих при рассеянии излучения на неподвижном объекте, представляла собой своего рода оптический эквивалент этого объекта. Если теперь на такую «волновую фотографию» направить излучение источника с белым спектром, то она отразит его излучение так, что возникнет единственное цветное неискаженное пространственное изображение объекта, картина стоячих волн которого была зарегистрирована фотографически.

Следует отметить, что эта идея базировалась на работах Г. Липпмана, который, как известно, предложил в конце XIX в. интерференционный способ получения цветных фотографий, за что в 1908 г. был удостоен Нобелевской премии. Согласно этому способу, в фотоматериал впечатывается объемная картина стоячих волн, отраженных от плоского зеркала. Как показал Липпман, полученная таким способом объемная структура обладает способностью воспроизводить спектральный состав экспонировавшего фотографию излучения. Метод голографии с записью в трехмерных средах, в соответствии с которым на голограмме регистрируется трехмерная картина стоячих волн, возникающих при отражении света от произвольного объекта, обобщил метод голографии в двумерных средах и метод цветной фотографии Липпмана.

Схематически его можно представить себе следующим образом. Фотопластинка  $F$ , имеющая толстый эмульсионный слой, устанавливается перед объектом со стороны источника  $S$ . После экспозиции и проявления в эмульсионном слое фотопластинки образуется трехмерная слоистая структура ( $d_1, d_2, d_3$ ), моделирующая пространственное распределение интенсивности в стоячей волне, образованной в результате наложения излучения, рассеянного объектом, и излучения источника  $S$ . Такая структура обладает спектральной селективностью и поэтому допускает реконструкцию с помощью обычного источника со сплошным спектром, например с помощью лампы накаливания.

Механизм действия такой голограммы в общих чертах заключается в следующем. Поверхность пучностей данной стоячей волны есть геометрическое место точек, в которых фаза излучения источника совпадает с фазой излучения, рассеянного объектом. Очевидно, что если на зарегистрированную голограммой поверхность пучностей направить излучение источника, то фаза отраженной волны совпадает с фазой

Денисюк Ю. Н.— Доклады АН СССР, 1962, т. 144, № 6, с. 1275; Он же.— Оптика и спектроскопия, 1963, т. 15, вып. 4, с. 522; 1965, т. 18, вып. 2, с. 275.

излучения, рассеянного объектом. Амплитуда в этом случае также восстанавливается, поскольку коэффициент отражения рассматриваемого слоя пропорционален амплитуде излучения, рассеянного объектом. Каждую зарегистрированную трехмерной голограммой поверхность стоячей волны можно представить как зеркало сложной формы, которое преобразует сферическую волну в волну, полностью идентичную волне излучения, рассеянного объектом.

Таким образом, оказывается, что двумерная голограмма в действительности представляет собой лишь частный случай гораздо более общего явления. Существенно более полный комплекс отображающих свойств заключен в объемной картине интерференции — стоячей волне. Трехмерная материальная модель такой волны (голограмма) однозначно воспроизводит амплитуду, фазу и спектральный состав записанного на голограмме излучения, ложное изображение при этом отсутствует. В дальнейшем было показано, что отображающими свойствами обладают не только стоячие, но и бегущие волны интенсивности, которые образуются в том случае, когда частоты объектной и референтной волн различны.

## ЛАЗЕРЫ И ГОЛОГРАФИЯ

Еще в 1949 г. Габор писал: «Ограничение возможностей нового метода объясняется главным образом малой интенсивностью когерентных пучков». Первыми, кто использовал вновь появившиеся технические возможности и применил лазер для получения голограмм, были американские исследователи Э. Лейт и Ю. Упатниекс (1962). Запись голограмм осуществлялась ими по схеме Габора, однако в нее были внесены существенные изменения, которые позволили значительно улучшить качество реконструированного изображения<sup>6</sup>. Тем не менее отображающие свойства голограмм Лейта и Упатниекса были все же более бедными, чем у голограмм с записью в трехмерной среде: ложное изображение в этом случае все равно оставалось, а реконструкцию можно было осуществлять только с помощью излучения лазера.

Развитие голографии в период с середины 60-х годов можно охарактеризовать тем, что в это время были практически

полностью завершены исследования по созданию научного фундамента голографии с записью в двумерных средах. Развитие более общего метода голографии с записью в трехмерных средах шло значительно медленнее главным образом из-за отсутствия достаточно эффективных сред, пригодных для регистрации таких голограмм. В последующие годы этот пробел начал в известной степени заполняться в связи с разработкой фотополимеров, а также других сред на основе полимерных материалов. Характерно, однако, что, несмотря на эти трудности, именно из голографии с записью в трехмерных средах впоследствии выделился ряд принципиально новых областей, лежащих на стыке голографии и нелинейной оптики, таких как резонансная голография, голография на бегущих волнах интенсивности и динамическая голография.

В 1964 г. профессором Мичиганского университета (США) Дж. Строуком — автором самого термина «голография», а также многих принципиальных работ в этой области (некоторые были выполнены совместно с Габором) — был прочитан первый курс лекций по голографии. В 1966 г. он же выпустил первую монографию, которая уже в следующем году была переведена в СССР<sup>7</sup>.

С середины 60-х годов происходило также бурное развитие технических приложений голографии: голографической интерферометрии, оптической записи и обработки информации, радиоголографии и др. Вследствие значительного расширения тематики начинается процесс профессиональной дифференциации ученых-голографистов.

В 1972 г. Ш. Д. Какичашвили показал, что в сложном поле интерференции произвольно поляризованных волн зашифрована также информация о поляризации интерферирующих компонентов<sup>8</sup>. Чтобы вывить эту информацию, достаточно записать голограмму в светочувствительной среде, которая под воздействием поляризационного излучения становится анизотропной. В частности, Какичашвили предложил использовать для этой цели эффект наведения светом анизотропии показателя поглощения — так называемый эффект Вейгерта.

<sup>6</sup> Лейт Э., Упатниекс Ю. Фотография в лучах лазера. — В сб.: Над чем думают физики. Вып. 11. Лазеры. М., 1977, с. 86.

<sup>7</sup> Строук Дж. У. Введение в когерентную оптику и голографию. М., 1967.

<sup>8</sup> Какичашвили Ш. Д. — Оптика и спектроскопия, 1972, т. 33, с. 324.

Принципиальное значение этого открытия состоит в том, что мы получаем в дополнение к возможности регистрировать интенсивность световой волны (что давало нам плоское черно-белое изображение), ее спектральные характеристики (цветное изображение), фазу (объемное изображение) возможность использовать в информационных целях (например, путем модуляции) еще один параметр световой волны — ее поляризацию, т. е. приобретаем еще один информационный канал.

Поляризационная голография — далеко не единственный пример того, как во многих случаях именно светочувствительная среда оказывает решающее влияние на весь комплекс свойств голограммы. В нашей стране было положено начало других важных направлений, таких как динамическая голография, голография в резонансных средах, а также эффект обращения волнового фронта при вынужденном рассеянии света<sup>9</sup>. Каждое из этих направлений обязано своим появлением определенной специфической особенностью отклика того или иного класса светочувствительных сред на излучение. При всем этом следует помнить, однако, что какую бы важную роль ни играл фотоматериал, в основе отображающих свойств голограммы все же лежат отображающие свойства волновых полей.

### ДИНАМИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ

В настоящее время фронт наиболее активных исследований переместился в так называемую динамическую голографию<sup>10</sup>. Под этим термином обычно понимают случай, когда трехмерная картина стоячих волн записывается в среде непосредственно

в процессе воздействия излучения. По характеру закономерностей динамическая голография представляет собою синтез голографии в трехмерных средах и нелинейной оптики. При этом закономерности голографии определяют трансформации сложных волновых фронтов, а закономерности нелинейной оптики — характер поведения регистрирующей среды в процессе воздействия на нее излучения.

Наиболее характерной областью исследований динамической голографии являются преобразования волновых фронтов, выполняемые непосредственно в момент их существования. Однако эффекты динамической голографии проявляются также и в процессе записи обычных статистических объемных голограмм, когда такие голограммы регистрируются на фотоматериалах, которые не образуют скрытого изображения, нуждающегося в проявлении, а реагируют на свет непосредственно в процессе экспозиции. Собственно говоря, с исследования именно этих эффектов, свойственных записи на щелочно-галогидных кристаллах, ниобате лития и других нелинейно-оптических материалах, и было начато исследование закономерностей динамических голограмм.

В последнее время появилась новая, крайне интересная область динамической голографии, соответствующая случаю, когда голограмма записывается в резонансной среде, т. е. такой, у которой энергия перехода между возбужденными и основным уровнями соответствует длине волны экспонирующего голограмму излучения.

Фактически резонансная голография появилась в результате развития идей светового эха. Как известно, этот эффект сводится к тому, что если на резонансную среду послать два последовательных импульса света, разделенных определенным интервалом времени, то спустя точно такой же интервал времени после второго импульса появится эхо — среда испустит добавочный третий импульс. Появление эха можно интерпретировать как способность среды запоминать и воспроизводить временные параметры электромагнитного поля — в данном случае интервал времени между последовательными импульсами, а также и пространственное распределение фаз первого импульса.

Голография с записью в резонансных средах, в которой пространственная память голограммы органически объединяется с временной памятью фотонного эха, открывает принципиально новую возможность запоминать и затем точно воспроизводить

<sup>9</sup> Басов Н. Г., Зубарев И. Г. Эффект обращения волнового фронта лазерного излучения. — Природа, 1980, № 8, с. 8. За цикл работ по самообращению волнового фронта света при вынужденном рассеянии на гиперзвуке И. М. Бельдюгину, О. Ю. Носачу, И. Г. Зубареву, Ф. С. Файзуллоу, В. И. Беспалову, Г. А. Пасманику, Б. Я. Зельдовичу, В. В. Рагульскому, Г. Г. Кочемасову, С. А. Сухареву и В. Г. Сидоровичу присуждена Государственная премия СССР 1983 г.

<sup>10</sup> За цикл работ по физическим основам динамической голографии и новым методам преобразования пространственной структуры световых пучков, опубликованных в 1969—1980 гг., Ю. А. Ананьеву, Ю. Н. Денисюку, Д. И. Стаселько, Б. И. Степанову, П. А. Апанасевичу, Е. В. Ивакину, А. С. Рубанову, М. С. Бродину, М. С. Соскину, С. Г. Одулову, Е. И. Штыркову, А. И. Соколовской была присуждена Государственная премия СССР 1982 г.

динамические процессы, связанные с изменением состояний во времени и пространстве. В дальнейшем это явление станет, по-видимому, основой для создания нового сверхскоростного инструмента регистрации физических процессов и воздействия на них.

У голографии в резонансных средах есть по крайней мере еще один очень интересный аспект. Исследование процесса, позволяющего объективно регистрировать и воспроизводить пространственно-временную последовательность событий окружающего мира и даже полностью инвентаризовать эти события в пространстве и времени, несомненно, должно пролить новый свет на одно из самых фундаментальных и загадочных явлений природы — время и его связь с событиями.

### ВОЗМОЖНОСТИ ГОЛОГРАФИИ И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Голографический метод является методом записи информации более полной, а следовательно, и количественно, и качественно более богатой, чем в известных ранее методах. Поэтому нет ничего удивительного в том, что голография находит широкое применение во многих направлениях науки и техники: для передачи и обработки информации, в кибернетике, автоматике, вычислительной технике, в технологии и приборостроении. В настоящее время существует довольно большое число перспективных направлений использования голографии в самых различных областях.

Центральное оптическое явление голографии в том виде, в котором оно известно в настоящее время, позволяет записывать и воспроизводить практически все параметры волнового поля при весьма широком диапазоне свойств и параметров объектов. Это явление допускает регистрацию и воспроизведение волновых полей объектов, движущихся со скоростями вплоть до релятивистских; при этом воспроизводится амплитуда, фаза, спектральный состав и поляризация излучения. Развиваются методы, позволяющие записать изменение параметров излучения во времени. Свойство голограммы формировать обращенные (сопряженные) волны находит важные применения для компенсации влияния оптических неоднородностей сред. Процессы, протекающие в трехмерной голограмме, в некоторых отношениях родственны процессам мышления и могут быть использованы в дальнейшем для их имитации. На основе трехмерной голограммы

может быть создана сверхплотная оптическая память.

Отметим еще один интересный аспект голографического метода. Дело в том, что голограмма воспроизводит реальный предмет не столько потому, что на ней записано волновое поле, сколько потому, что ее материальная структура в каком-то смысле копирует, воспроизводит материальную структуру предмета. Ведь голограмма линзы не только изображает нам ее — она ведет себя так, словно это реальная линза, например прожигает лист бумаги. Более того, такие возможности голографического метода, как вычитание изображений, компьютерный синтез голограмм и др. позволяют нам получить «объекты», реально не существующие в природе (скажем, упомянутая линза может фокусировать лучи только определенного цвета и свободно пропускать все другие длины волн). Как известно, теоретическая физика имеет дело с идеализированными физическими объектами. Голография позволяет в ряде случаев осуществить такую «идеализацию» экспериментально, и трудно предвидеть, к чему может привести, например, возможность изучения взаимодействия атомов и молекул, записанного в динамике в голографической среде с удалением, «вычитанием» множества не интересующих экспериментатора в данный момент «паразитных» эффектов. Одним из научно-технических достижений последнего времени стала компьютерная томография, из самого названия которого следует, что это метод плоских сечений, разрезов скрытых от глаза внутренних объектов, таких как органы человеческого тела, получаемых при компьютерном синтезировании их рентгеновских, акустических и т. п. изображений. Очевидно, что сочетание этого метода с голографией, т. е. синтез объемных изображений таких органов, последовательное освобождение их (путем голографической обработки изображений) от закрывающих их тканей и т. п. должно предоставить еще большие возможности.

Таким образом, за прошедшие годы голография показала, что она имеет широкие перспективы в качестве универсального объективного метода записи и отображения явлений окружающего мира.

## Заселение Восточной Европы в палеолите

**Н. К. Анисюткин,**  
кандидат исторических наук

Ленинградское отделение Института  
та археологии АН СССР

Сведения о первоначальном заселении палеолитическим человеком Восточной Европы скудны и фрагментарны. Если ограничиться пределами Русской равнины, исключив Предкавказье, то можно говорить всего лишь о нескольких достоверных пунктах находок каменных изделий архаичного облика, не привязанных, однако, к определенным геологическим слоям, а собранных чаще всего на поверхности и потому лишенных сколько-нибудь обоснованной хронологии. Открытие Н. Д. Прасловым на Северском Донце каменных орудий в ископаемых почвах и галечнике первой половины среднего днепровского (или рисского) оледенения Русской равнины позволяет отнести эти орудия к среднеашельскому времени (около 200 тыс. лет назад). Несколько каменных предметов с левого берега Миусского лимана в Приазовье датируются, возможно, даже временем более раннего, миндельского оледенения (свыше 350 тыс. лет назад). К позднему или среднему ашелю можно отнести также единичные находки кремневых изделий их аллювиальных отложений Прута и Днестра.

Приднестровский палеолитический отряд Ленинградского отделения Института археологии АН СССР, руководимый автором, обнаружил в 1982 г. в Нижнем Приднестровье два местонахождения с кремневыми изделиями палеолитического облика: одно — на высокой, 70-метровой террасе над юго-восточной окраиной г. Дубоссары, второе — в 8 км ниже по течению Днестра, на той же террасе, у с. Погреба. Исследованиями 1983 г. установлено, что кремневые изделия приурочены

к делювиальным отложениям VI надпойменной террасы Днестра. Они рассеяны вместе с галькой (разрушенным аллювием более высокой террасы) в 6-метровой толще лёсса и в верхней части лежащей под ним ископаемой почвы красновато-коричневого цвета. Чрезвычайно важно, что эти отложения ранее были изучены и описаны геологом М. Ф. Векличем, что и позволяет определить возраст наших находок.

Лёсс, в котором рассеяны кремневые изделия, датируется днепровским оледенением; ископаемая почва мощностью около 2 м, в верхней части которой есть отдельные находки, соответствует миндель-рисскому межледниковью. Таким образом, археологические находки в Дубоссарах и с. Погреба по времени не позднее днепровского оледенения, в которых они перетолжены, т. е. им 200 тыс. лет.

Наибольший интерес представляет галечное орудие, залегавшее в желтом лёссе, на 40 см ниже миндель-рисской почвы. К эпохе миндельского оледенения можно, вероятно, отнести 3 галечных орудия, подобранных на склоне, где обнажаются миндельские отложения. По сохранности поверхностей эти предметы отличаются от основного комплекса находок.

Итак, впервые для Русской равнины представлена значительная коллекция каменных изделий ашельской эпохи: мелкие орудия на массивных отщепках, включая многочисленные галечные формы — чоперы, грубые бифасы, которые еще нельзя считать подлинными ручными рубилами. По технике обработки камня эти орудия близки центральноевропейским комплексам из травертинов Венгрии, Словакии и ГДР.

Материалы наших раскопок показывают, что первобытные люди устраивали свои стоянки на крутых мысах высокой

террасы, у обнажений плиоценовых галечников, служивших сырьем для производства орудий труда. Это были разные по продолжительности обитания стоянки, на которых очаги горели долго и интенсивно (поверхности многих кремневых изделий растрескались от длительного воздействия огня). В период максимального оледенения, когда леса сменились холодной степью, места стоянок разрушались под действием эрозии, а материал перемещался вниз по склону. В конце позднего плейстоцена (который представлен в разрезе только маломощным слоем коричневого суглинка), когда выявились источники более качественного сырья для изготовления орудий, на эти стоянки изредка заходили группы мустьерских охотников, о чем свидетельствуют единичные кремневые изделия, отличающиеся от более древних лучшей сохранностью поверхностей.

Находки из верхней части миндельских отложений указывают на более раннее, чем считалось до сих пор, появление человека в изучаемом нами регионе, что целиком соответствует данным, полученным ранее для Приазовья и Северского Донца. Отражая лишь уровень наших сегодняшних знаний, это не исключает возможности еще более древних находок. А сейчас можно с уверенностью говорить, что территория Восточной Европы осваивалась людьми уже с конца среднего ашеля: на территории Молдавии ныне известны остатки не менее трех крупных поселений, относящихся к началу позднего — концу среднего ашеля.





## Турач

**А. К. Рустамов,**  
академик АН Туркменской ССР

Ашхабад

Родина турачей — птица из отряда куриных — тропическая зона. Большинство видов рода турач — *Francolinus* — встречаются в Африке (26), а в Передней и Южной Азии их всего 6. Ареал турача простирается с запада на восток от южного побережья Черного моря до плоскогорья Декан в Индии, а с юга на север от берегов Аравийского моря до Восточного Закавказья и Юго-Западного Туркменистана.

В нашей стране обитает единственный вид — *Francolinus francolinus*, заселяющий среднюю часть и пограничную с Ираном полосу Азербайджанской ССР, а также два небольших участка на юго-западе Туркменинии.

Еще в 30—40-х годах нашего века турач был обычным промысловым видом: в Закавказье добывали до 50 тыс. птиц ежегодно. Из-за неумеренной охоты и браконьерства его численность катастрофически снизилась, во многих местах турач полностью выбит, и сейчас он как редкая птица внесен в списки «Красной книги СССР» и в республиканские «Красные книги» Азербайджана и Туркменинии.

Турач — это небольшая (массой 450—550 г), немного меньше фазана, но крупнее серой куропатки, наземная птица с красивым оперением. Наряд самца яркий и пестрый: верхняя сторона головы золотисто-серая, остальная часть головы, шея, бока — черные с круглыми белыми пятнами; черного же цвета и короткий клюв. Вокруг шеи — короткое ожерелье, на щеках по белому пятну. Самки окрашены так же пестро, но оперение их бледнее, чем у самцов.

Живет турач в равнинной местности, однако в Восточном Закавказье и на юго-западе

Туркмении поднимается до небольших высот — 700—800 м. Как правило обитает он близ воды в зарослях колючих кустарников (дерезы, ежевики, тамарикса и др.), перемежающихся полянами с высокой травой, а также по берегам оросительных каналов на участках, покрытых бурьяном. Природные места обитания турача в Туркмении сильно изменены хозяйственной деятельностью, но птица не избегает и возделанных земель, охотно заселяя виноградники, сады, гранатовые рощи и другие участки культурного ландшафта.

В Закавказье исконные уголья турача — молодые и слабо развитые пойменные леса (тугаи); иногда он селится в нижнем ярусе старых тенистых тургаев; в тростниковых зарослях по берегам озер и болот с открытыми, поросшими бурьяном участками; в тамариковых чащах. Как и в Туркмении, здесь он встречается в виноградниках, а также в оазисах, возникших в степи в результате орошения.

Птица эта оседлая, но, если в местах обитания устойчиво держится плохая погода или выпадает много снега, она покидает обжитые места; совершает и сезонные миграции. В Азербайджане осенью почти все птицы из открытых мест (хлопковых, люцерновых, пшеничных и ячменных полей, рисовых чеков) переселяются в заросли кустарников или поближе к жилью человека и остаются там до весны. Днем турачи кормятся, причем их активность зависит от погоды. Ночуют они на земле, реже устраиваются на ночлег на ветвях кустарников, иногда даже на деревьях. Если птицу не преследуют местные жители, она появляется не только на окраинах селений, но и во дворах и ходит там вместе с домашними курами. При опасности часто затаивается или пытается убежать и лишь в самый последний момент шумно взлетает «свечкой» на 3—4 м. Тихо пролетев некоторое расстояние, ту-

рач постепенно снижается и опускается в заросли высокой травы или кустарников. Турач очень ловко и быстро бегаёт и в поисках корма, особенно в погожие дни, может пройти немалые расстояния.

Основная пища турача весной и летом — различные насекомые и гусеницы, а из растительных кормов он предпочитает зерна культурных злаков и плоды бобовых. Корм собирает чаще всего с земли, но иногда взбирается на кустарники и склевывает их ягоды и семена или выкапывает корни однолетних трав. В его довольном обильный рацион входят более 200 видов насекомых и 100 видов растений.

Турачи — моногамы, живут они парами или вместе со своим выводком. Самцы, как и большинство куриных, токуют во время брачного периода. Уже с появлением первых признаков весны (в зависимости от погодных условий это может быть разное время: от конца февраля до начала апреля) можно услышать громкие крики, разносящиеся иногда метров на 400. Взобравшись на бугор, прессованный тюк сена, насыпь вдоль оросительного канала, усевшись на куст или даже на телеграфный столб, турач распускает хвост, свешивает крылья и в такт брачным крикам прикрывает глаза.

Токуют самцы обычно в ясную солнечную погоду, за 30—40 минут до восхода или сразу с восходом солнца. Токовое самца, ухаживание за самкой немного напоминает брачное поведение домашнего петуха.

Гнездовой участок (0,5—1,0 га) выбирают самки, они же строят и гнездо — обычно в зарослях, реже на открытых местах под прикрытием кустов. Небольшое углубление в земле самка выстилает прутьями, перемешанными с обломками сухой травы, но иногда устраивает гнездо и без подстилки.

В кладках бывает разное количество яиц — от 6 до 15, чаще 7—10. Яйца (размером 41,3×33,6 мм и массой 19,1—27,7 г) — эллипсоидной формы, покрытые оливково-бурой скорлупой с беловатыми пятнышками. Самка насиживает яйца около 3 недель, а самец в это время находится неподалеку. Отправляясь на кормежку несколько раз в день, самка покидает кладку лишь ненадолго. Остальное время она так плотно сидит на яйцах, что удается подойти к гнезду и даже дотронуться до птицы.

В мае уже можно встретить семью турачей с выводком. По сведениям А. И. Ханмамедова, во второй половине лета самка откладывает яйца повторно, и пока она сидит на новой кладке, самец опекает подросших птенцов<sup>1</sup>.

Линька у взрослых птиц начинается в середине июля и длится до самой осени. В новый наряд взрослые птицы одеваются в одних местах в сентябре (низовья Атрека в Туркмении), в других — в ноябре (на Куре и Араксе). Оперяющиеся птенцы встречаются в конце июля и в конце августа. Очевидно, это результат или наличия у турачей двух кладок в году, или растянутости периода размножения. В своем первом взрослом наряде (правда, с остатками гнездовых перьев) птенцы появляются в основном во второй половине октября.

В новой «Красной книге СССР» турач отнесен ко второй категории, т. е. группе видов, численность которых пока относительно велика, но сокращается катастрофически быстро. Основной фактор, вызывающий массовую гибель птиц в природе, — бескормица из-за глубокого снежного покрова: после такой зимы 1977 г. численность птиц в Кызыл-Агачском заповеднике (Азербайджан) сократилась почти в 10 раз. Даже в Туркмении, где суровые

многоснежные зимы бывают редко, турачи погибают во множестве. За последние десятилетия в Азербайджане из-за глубокого снега, покрывавшего землю, неоднократно погибала большая часть турачей, но каж-

байджана приходилось от 80 до 460 турачей на 100 га, в 1943—1947 гг. — от 120 до 540, а в 1958—1966 гг. — всего 80. Если последнюю цифру считать средней плотностью турача, то современную численность его в



Ежевичные заросли — излюбленное местообитание турача.

Азербайджане следует оценить в 100 тыс.

дый раз в течение 3—4 лет их численность восстанавливалась. Благодаря высокой плодовитости и экологической пластичности вида (способности легко адаптироваться к преобразованиям, вносимым человеком в среду обитания) птица уцелела до наших дней, хотя еще столетие назад ее считали исчезающей<sup>2</sup>.

О современной численности турача трудно сказать что-либо определенное, поскольку плотность популяций весьма нестабильна и колеблется от года к году. В предвоенные годы в различных угодьях Азер-

На снижении численности турачей, несомненно, сказался интенсивный промысел. Во второй половине прошлого столетия птицу добывали в большом количестве: за несколько дней охотник с ружьем отстреливал 50—70 экземпляров, а с ястребом брал за одну охоту от 10 до 20 штук. Обесилевших голодных птиц во множестве забивали палками, когда выпадало много снега. Подрывало численность и браконьерство, к сожалению, не изжитое и в наши дни.

Будущая судьба турача зависит от человека, и, если не принять специальных мер, птица может погибнуть. В многоснежные зимы турачи особенно нуждаются в помощи. Очистка площадок от снега, подкормка, отлов и временное содержание в специальных местах — вот, в сущности, все, что требуется птицам для переживания

<sup>1</sup> Ханмамедов А. И. Турач в Азербайджане, его распространение, экология и хозяйственное значение. — В кн.: Тр. Ин-та зоол. АН АзербССР, 1956, т. 19, с. 97.

<sup>2</sup> Млокосевич Л. Турач. — Изв. Кавказского общества любителей естествознания и альпийского клуба, 1879, кн. 1, с. 22.

ния суровой зимней поры. Эффективность таких несложных мер налицо: на одном участке Кызыл-Агачского заповедника зимой 1977 г. птиц подкармливали ячменем, рассыпая его на дороге с движущейся ма-

из 54 яиц, инкубированных под курицей и индюшкой, также появились птенцы (правда, из 38 до взрослых дожили только 18). К сожалению, ни в Азербайджане, ни в Туркмении ставшие взрослыми птицы не

расширить ареалы турача в Туркмении, выпустив птиц в районы Мургаба, Теджена, а также в некоторые участки вдоль Каракумского канала.

Турач — это не только частичка естественного много-



Гнездо турача со свежей кладкой.

Гнездовая пара на открытой поляне.



шины (интересно, что турачи не только не пугались автомашины, но, заведя ее, устремлялись к дороге), и здесь весной орнитологи насчитали 182 турача, тогда как на других участках заповедника почти все птицы погибли.

Другой способ поддержания любого угасающего вида — разведение в питомниках и последующее расселение в природе. Такой опыт накоплен в некоторых зоопарках мира и для турача и свидетельствует о том, что эту достаточно доверчивую к человеку и неприхотливую птицу вполне можно разводить вольерах. Первые попытки размножения турача в неволе сделаны и в нашей стране. В Азербайджане, например, из яиц турача, подложенных под домашнюю птицу, удалось получить птенцов и вырастить их до взрослого состояния. В Сянтхасардагском заповеднике (Туркмения) в 1981 и 1982 г.

размножаются. Орнитологам, научившимся инкубировать яйца и освоившим технологию выкармливания и выращивания молодых птиц, осталось выяснить причины, препятствующие размножению выведенных в неволе турачей, устранить эти причины и добиться приплода. Как известно, большое значение в жизни птиц имеют звуковые сигналы. Недавно разгаданы функции акустических сигналов турача во время гнездового периода, использование которых, очевидно, может быть полезно при разведении этой птицы в неволе.

Научившись поддерживать численность турача с помощью вольерного разведения, птиц можно выпускать не только в исконные места обитания, но и расселять по районам, условия в которых пригодны для их жизни. Турач вполне может акклиматизироваться в Западной Грузии, Южной Украине, Таджикистане, можно

образия природы, его мясо вкуснее фазаньего, велико и его значение в борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур.

Мы уверены, что при строгой охране турача (а он охраняется сейчас только в Кызыл-Агачском, Красноводском и Сянтхасардагском заповедниках, но охота на него повсеместно запрещена), беспощадной борьбе с браконьерством, проведении биотехнических мероприятий в многоснежные зимы, разведении птицы в питомниках и последующей интродукции в природные ландшафты можно спасти от гибели этот вид птицы. И не только спасти: высокая плодовитость и экологическая пластичность вида вместе с перечисленными мерами вполне могут обеспечить быстрое увеличение численности и превратить «краснокнижный» вид в объект промысла или хотя бы спортивной охоты.

## Островная тропическая флора нуждается в охране

**Е. Е. Гогина,**  
кандидат биологических наук  
Главный ботанический сад АН СССР  
Москва

Сейчас на земном шаре, пожалуй, не найдется уголка, где состояние растительного покрова не вызывало бы тревогу. Судьба же тропической флоры наиболее неблагоприятна: рубка тропического леса столь велика (около 110 тыс. км<sup>2</sup> в год), что к концу столетия будут, по-видимому, сведены все доступные лесные массивы. А это грозит нарушением экологического равновесия и потерей такого числа видов растений и животных, которое трудно даже представить: ведь тропический лес — самый сложный и богатый тип растительности на Земле, а способность его к восстановлению ничтожна.

Но даже в этой неприглядной ситуации особенно тревожно состояние островной флоры. Благодаря развитию в условиях изоляции, островные флоры на редкость своеобразны и содержат много малочисленных и неконкурентоспособных видов. Поэтому растительные сообщества островов стали быстро изменяться и даже исчезать, как только началась колонизация и хозяйствование человека. Если в среднем на нашей планете в охране нуждается около 10 % видов флоры, то на некоторых островах их число достигает 50 %.

К сожалению, многое в динамике формирования растительного мира островов еще недостаточно изучено, даже его исходное разнообразие установлено не полностью. А в этих условиях охрана флоры очень затруднена. Не закончено составление полных списков видов растений и на островах Индийского океана, материалы по флоре большинства из них отрывочны или устарели. Поэтому даже кратковременные наблюдения за состоянием островной растительности имеют научную ценность.

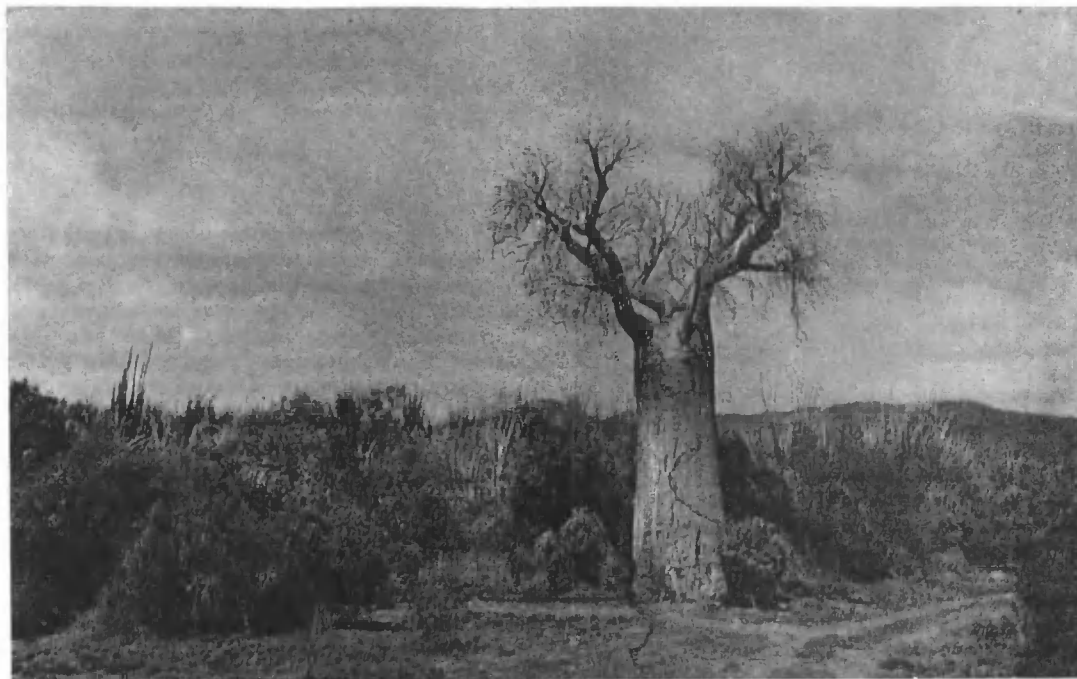
Познакомиться с разнообразием тропической флоры на некоторых островах Индийского океана и в какой-то мере оценить характер ее изменений мне удалось в 1981 г. в 24-м рейсе научно-иссле-

довательского судна «Академик Вернадский». Эта комплексная ботанико-гидрофизическая экспедиция, организованная Академией наук УССР, работала в бассейне Индийского океана в течение 5 месяцев. Маршрут экспедиции охватывал Сейшельские о-ва, о-ва Мадагаскар, Маврикий, Сингапур, Шри-Ланка и Мальдивский архипелаг.

Как известно, характер островной флоры в значительной мере зависит от геологической истории. На островах, представляющих собой обломки материков, флора, как правило, наиболее богата и своеобразна. На океанических же островах, возникших в результате деятельности вулканов и (или) образованных кораллами, флора формируется каждый раз заново и потому бедна по составу, а сложена, в основном, видами, способными расселяться на дальние расстояния. Правда, со временем островная флора обогащается за счет заносных видов и приспособительной эволюции.

Флора островов Индийского океана имеет преимущественно тропический лесной характер. В ней хорошо различимы 4 элемента: африканский, индомалезийский, пантропический и, наконец, самобытный местный. Выраженность этих элементов зависит от географического положения, происхождения и возраста островов. Наша экспедиция побывала на островах разного типа — от древних материковых до молодых океанических. Работа экспедиции на каждом острове была непродолжительной, и собранные материалы конечно недостаточны для полной характеристики островных флор. Но даже при таком беглом знакомстве осталось впечатление резко выраженной антропогенной нарушенности богатого и разнообразного растительного мира тех мест.

Растительный покров островов сохранил свой первоначальный облик и состав лишь на заповедных участках, площадь



На юге Мадагаскара сейчас остались лишь одиночные баобабы, в прошлом, видимо, составлявшие разреженный верхний ярус местных лесов.

которых, к сожалению, невелика, в то время как за пределами заповедников первоначальных ландшафтов почти не осталось. Несмотря на то что мы работали в районах, где коренной тип растительности — высокоствольный дождевой тропический лес, единственным местом, сохранившим свой первоначальный облик, был заповедник Бацит Тимах на о-ве Сингапур.

Этот небольшой остров, площадью 533 км<sup>2</sup>, составлявший когда-то единое целое с о-вами Малайского архипелага, прилегает с юга к Малакскому п-ову. Поэтому флора Сингапура, видовое разнообразие которой очень велико, почти не отличается от малакской. Сингапур образовался недавно (по геологическим масштабам), флора его еще не приобрела характерных островных черт и не имеет собственных эндемичных видов.

Бацит Тимах — это заповеданный еще в прошлом веке небольшой (75 га) типичный участок дождевого леса, когда-то покрывавшего весь остров. Лес с разнообразными деревьями многоярусен и столь богат видами, что, несмотря на бо-

лее чем вековое изучение, до сих пор не все они выявлены. Деревья со множеством свисающих эпифитов и лазающих лиан достигают здесь 50—60, а иногда и 70 м в высоту и напоминают даже не колонны, а башни — так могучи их стволы. Воздушные корни многих древесных пород как бы подпирают с боков эти растительные гиганты или стелются по земле в виде мощных досок. В лесу много древовидных папоротников, а в наиболее светлых участках леса непролазные сплетения образуют ротанговые пальмы.

Богата и своеобразна флора Мадагаскара — самого крупного (590 тыс. км<sup>2</sup>) острова Индийского океана. Здесь около 10 тыс. видов растений, большинство из которых (80—86 %) — эндемичные. Несмотря на соседство с Африкой, общих с ней родов значительно меньше, чем эндемичных. Мадагаскар гораздо богаче, чем Африка, пальмами, здесь их 120 видов и 18 родов, причем 118 видов, 13 родов и одно семейство не встречаются в африканской флоре. Разнообразны на Мадагаскаре и формы баобаба. Всего во флоре острова 6 эндемичных семейств и более 350 родов, много обособленных и примитивных форм.

Богатейший растительный мир Мадагаскара уже понес большие утраты. Сейчас на острове сведено около 80 % лесов; бо-



Один из гигантов растительного мира в Бакит Тимахе на о-ве Сингапур.

Баньяны с мощными корнями-подпорками.



лее или менее благополучно состояние растительного покрова лишь в заповедниках (их вместе с национальными парками 14).

На вырубках и после выжигания лес сменяется вторичной древесно-кустарниковой растительностью, в которой преобладают знаменитое дерево путешественников (*Ravenala madagascariensis*), некоторые бамбуки, а на болотистых местах — гигантское аroidное *Typhonodorum lindleyanum*.

На засушливом юге острова в районе г. Форт-Дофин мы побывали в удивительном лесу. Светлый, солнечный, без малейшей тени, он абсолютно не похож на леса умеренной зоны и кажется выкованным из железа. У деревьев нет даже обычных, знакомых нам листьев, а длинные ветви украшены, как у кактусов, острейшими мощными колючками. Здесь господствуют кактусовидные дидиеревые и древовидные молочаи, над которыми возвышаются одиночные баобабы. Облик этого леса настолько своеобразен, что кажется нереальным.

Высокая специфичность лесных сообществ и крайняя сухость здешних мест (в этой южной части острова иногда в течение года не выпадает ни одного дождя) создают впечатление, что растительность находится в относительной безопасности и мало нарушена. Ботанику, почти незнакомому с этими местами, кажется, что только расширяющиеся плантации сизаля, выращивание которого поставлено «на широкую ногу», могут нанести ущерб этому сказочному лесу. К сожалению, это не так: состав сообществ в действительности уже изменен выборочными вырубками; сейчас здесь встречаются лишь одиночные деревья баобаба, раньше, очевидно, составлявшего разреженный верхний ярус леса; малочисленной стала алкодия высокорослая — один из видов дидиеревых<sup>1</sup>. Удивительно, что даже крупные острые шипы этих растений не спасают их от мохеро-

<sup>1</sup> Raub W. Problems of Biological Conservation in Madagascar. — In: Plants and Islands. L., 1979, p. 405.

Эпифитные папоротники на стволах деревьев.

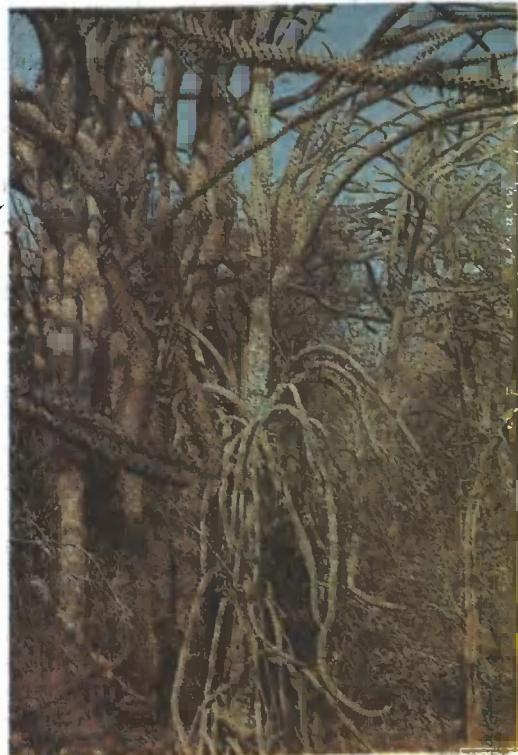
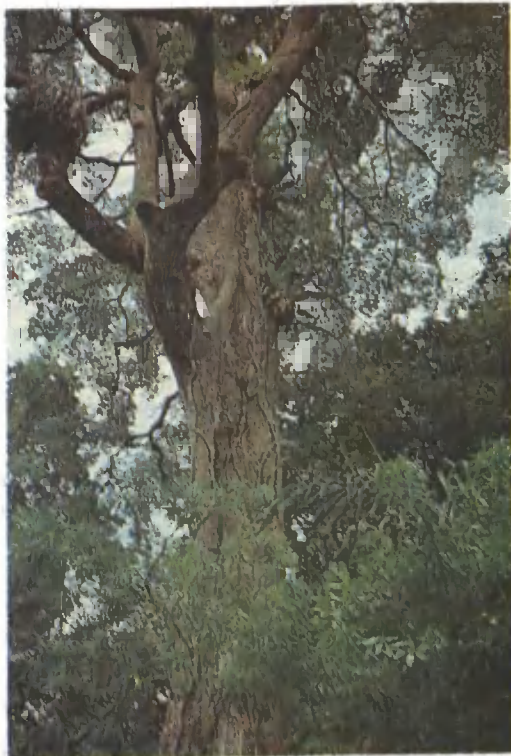
Заросли дидиереи Тролля в южной засушливой части Мадагаскара.

вых коз, недавно завезенных на остров: козы поедают молодые листья дидиереевых и тем вызывают даже деградацию ценозов. В результате в некоторых местах растительные сообщества разрушаются вплоть до полного опустынивания ландшафтов.

В долине р. Мандраре для охраны лемуров создан частный заповедник Беренти, где попутно на площади около 2 тыс. га охраняется превосходный участок пойменного леса. Однако и в этом заповедном лесу уже встречаются заносные виды — агава, опунция, которые могут разрастись здесь и потеснить аборигенную флору. Предостерегающий пример есть: на юг острова в 1769 г. для защиты Форт-Дофина была завезена *Opuntia tolasanthos*, которая уже к концу века образовала непроходимые заросли на тысячах гектаров. Царствовала опунция более ста лет; ее колючие заросли были уничтожены лишь после того, как в 1923 г. в эти районы завезли паразитирующую на опунции кошениль.

Второй по величине (65,5 тыс. км<sup>2</sup>) материковый остров Индийского океана — Шри-Ланка. Число видов, составляющих его флору, достигает 3100, среди них преобладают индийские и малезийские элементы. Эндемичных видов во флоре 25 %, а эндемичных родов — 25. Как и на Мадагаскаре, здесь резко различается растительность влажной и сухой зон. Мы побывали только во влажной зоне, занимающей юго-западную часть острова. Прежде здесь господствовали сложные дождевые леса, ныне же почти все они сведены под плантации чая, гевеи, риса, кокосовой пальмы и бананов. Значительная часть эндемиков Шри-Ланки растет именно в этой влажной зоне острова, поэтому число видов, находящихся на грани исчезновения, в этих местах особенно велико. Единственный уцелевший участок девственного тропического леса площадью около 14 тыс. га охраняется в заповеднике Синха Раджа, расположенном к востоку от г. Ратнапура.

К древнему материковому типу относятся и мелкие Сейшельские о-ва, по внеш-



нему облику чрезвычайно сходные с океаническими. Этот архипелаг, расположенный далеко в океане (на расстоянии 900 км от Мадагаскара и 1750 км от Африки), состоит из 24 гранитных и нескольких десятков коралловых островов. Флора Сейшельских о-вов насчитывает лишь около 300 видов, но хотя бедна, зато весьма своеобразна по составу. Здесь много эндемиков (около 25 %), причем эндемичны не только таксоны видового ранга, есть одно эндемичное семейство и 13 родов, в том числе 6 родов пальм. Встречаются архаичные формы и виды, не имеющие приспособлений к переносу семян на дальние расстояния; некоторые виды растут лишь на единичных островах, а не по всему архипелагу.

До 1770 г. острова были необитаемы, а уже в 1880 г. на Маэ — главном острове архипелага — первичная растительность сохранилась лишь на нескольких участках у горных вершин<sup>2</sup>. Исчезли окружающие острова непроходимые заросли мангровых, высокоствольные низинные леса, рощи из эндемичных родов пальм. Их заменили заросли быстро растущих ввезенных сюда древесных пород; обширные пространства заняли полудикие плантации корицы. Очень редким стал вырубленный ради древесины характерный вид прибрежных лесов — *Intsia bijuga*. Многие завезенные на острова виды так разрослись, что вытеснили аборигенные растения; число чужеродных видов на Сейшелах сейчас составляет 50—60 %.

На архипелаге много эндемичных видов, находящихся на грани исчезновения, 47 из них внесены в «Красную книгу МСОП». Есть виды, спасение которых зависит теперь от искусства работников ботанических садов, среди них — реликтовая *Medusagune oppositifolia*, родство которой загадочно для ботаников до сих пор. На о-ве Маэ в трещинах скал уцелело лишь 6 деревьев этого вида. Почти полностью уничтожена рубками ценная древесная порода *Vateria seychellarum*, бывшая обычной в низинных лесах; осталось всего 10—15 деревьев, которые, конечно же, не могут обеспечить восстановления популяции. Сейчас на Сейшелах программируется создание заповедников и национальных парков. В список планируемых заповедных территорий входит чудом уцелевший в одной из долин о-ва Праслин не-

большой участок (25 га) девственного пальмового леса со многими замечательными эндемиками Сейшел.

О-в Маврикий — один из группы Маскаренских о-вов — по внешнему облику сходен с Сейшелами. Флора этого океанического острова вулканического происхождения насчитывает около 900 аборигенных видов, среди которых почти треть — эндемичные. Всего на Маскаренских островах 40 эндемичных родов, из них только на Маврикий — 12.

Как и многие другие тропические острова, Маврикий нередко сравнивали с земным раем. Ныне для ботаников — это скорее потерянный рай. До начала колонизации непроходимые леса, в которых было много черного дерева (род *Diospyros*), покрывали остров до самого океана, но уже к началу XVIII в. они поредели из-за усиленной вырубki. В 1740 г. на остров был завезен сахарный тростник, и с этого времени началось массовое сведение лесов под его плантации. К середине XIX в. этот небольшой остров уже давал 10 % всей мировой продукции сахара<sup>3</sup>. Сейчас Маврикий можно назвать страной монокультуры: все земли из-под сведенных лесов безраздельно заняты здесь сахарным тростником.

Для охраны остатков естественной растительности на острове созданы 9 заповедников. В самом крупном из них (3600 га) — Маккабе — охраняются горные леса, в них значительную роль играет семейство сапотовых. К сожалению, даже в заповедниках лес неуклонно деградирует под натиском инородных растений. На Маврикий были завезены чужеродные растения, которые размножились, одичали и стали вытеснять местную флору. Чтобы приостановить их нашествие, на острове была интродуцирована в качестве конкурента бирючина Уолкера. Но произошло непредвиденное: это растение не только не погубило одичавших инородцев, но само включилось в их ряды. Сейчас на Маврикий бирючина Уолкера и гуайява Кеттли (тоже новое для острова растение) образуют густой непроходимый подлесок, а вдоль дорог во множестве растет ревенала и колючая лиана *Rubus mollucanus*. В плотном кустарниковом ярусе почти не возобновляются местные породы; положение усугубляется еще и тем, что плоды сапотовых уничтожают завезенные на остров

<sup>2</sup> Procter J. — Biol. Conservation, 1973, v. 5, p. 153.

<sup>3</sup> Baker J. G. Flora of Mauritius and the Seychelles description of the flowering plants and ferns of those islands. L., 1877.



и одичавшие обезьяны. Из-за нарушения нормальной смены поколений древостой стал разреженным, в нем преобладают старые сильно страдающие от ураганов деревья.

До колонизации острова его юго-западная часть с самыми плодородными землями представляла собой саванну со своеобразными сообществами пальм. Эти-то плодородные земли первыми подверглись распашке, при этом многие виды пальм были уничтожены, а другие оказались на грани исчезновения.

С флорой коралловых островов мы познакомились на Мальдивском архипелаге. Эта цепь из 19 крупных атоллов, насчитывающих в общей сложности до 1400 мелких островков, вытянута почти на 1200 км с севера на юг от западного побережья Индии. Специфика флоры атоллов определяется экологическими особенностями этих мелких и низких островов, возвышающихся над водой не более чем на 3 м.

Порожденные океаном крохотные кусочки суши с удивительным упорством противостоят его разрушительной мощи, оставаясь под полным контролем океанического климата. Здесь, по существу, представлен лишь один — прибрежный — тип местообитания и только один, прибрежный тип растительности. Благодаря суровому отбору на атоллах растут виды, способные расселяться на далекие расстояния и обитать на молодых почвах при недостатке пресной воды, высокой инсоляции и повышенном засолении. Общая численность мальдивской аборигенной флоры невелика и вряд ли насчитывает более 100—150 видов. Но даже и столь бедная растительность еще не вся учтена ботаниками. На севере архипелага мы обнаружили 2 вида мангровых — *Xylocarpus moluccensis* и *Acrostichum aureum* — и 2 вида наземных орхидей из рода *Eulophia*, которые не значились во флоре Мальдивских о-вов.

Существует мнение, что вследствие малых размеров, слабой сформированности почв, нехватки пресной воды и общей примитивности растительного покрова экосистемы коралловых островов особенно ранимы и нуждаются в первоочередной охране<sup>1</sup>. Однако на островах Келай и Филаду (атолл Тиладуммати), несмотря на высокую плотность населения, растительность даже на небольшом расстоянии от дере-

вень почти не пострадала от хозяйственной деятельности. Обусловлено это, очевидно, тем, что островитяне занимаются в основном рыболовством и разведением кокосовых пальм, площадь других культур невелика, а домашних животных на этих островах не держат.

Нарушения в природной флоре здесь связаны в основном с вырубкой деревьев на дрова и под плантации кокосовой пальмы. Число высокоствольных деревьев несомненно сократилось, за счет чего расширились заросли прибрежных кустарников.

Знакомство с растительностью коралловых островов оставило впечатление, что при всей своей хрупкости и ранимости, она способна легко залечивать нанесенные раны. К тому же флора этих островов сложена широкоареальными видами, способными быстро заселять свободные пространства, поэтому деградация экосистем отдельных островов не приводит к исчезновению всех видов, хотя и уменьшает их число.

Значительно большие потери вызывает разрушение сообществ на древних материковых и океанических островах вулканического происхождения, содержащих много узколокальных эндемиков. Степень деградации флоры как правило зависит от пригодности земель для сельскохозяйственного использования, плотности населения, его жизненного уровня и даже национальных традиций.

На всех островах, где нам удалось побывать, активно формируются новый состав флоры и новые сообщества растений, в которых аборигенные виды отступают под натиском интродуцированных. Флора островов обедняется и, утрачивая первичное своеобразие, становится унифицированной. Характер этих процессов определяется как формами антропогенного воздействия, так и особенностями растительного мира различных островов.

Бурный процесс перестройки островных флор интересен для исследования: в нем наглядно проявляются напряженная конкурентная борьба между местными и пришлыми видами и перераспределение между ними экологических ниш. Вероятно, исход встречи островных и интродуцированных растений зависит не только от слабой конкурентоспособности аборигенных видов, но и от высокой специализированности флоры тропических островов. В условиях почти полного покоя, без давления со стороны человека и крупных травоядных, при ровном благоприятном климате и отсутствии стихийных пожаров

<sup>1</sup> Игнатъев Г. М. Тропические острова Тихого океана. М., 1979.



Алюдия высокорослая — один из видов диpterокарпов.

островные растения приспособлялись к стабильной среде обитания. Преимущество получали долголетние древесные породы с невысокой плодовитостью, и леса занимали большую часть территории островов; лишь в специфических местообитаниях — на скалах и по побережьям — развивалась пионерная растительность.

На островах не было отборов видов, способных обеспечить при нарушениях коренных лесов их восстановление. Это и стало причиной катастрофического сокращения островных видов при вырубке тропических лесов. Некоторые аборигенные виды (например, мадагаскарская равенала), освободившись от конкурентного сдерживания в результате вырубки леса, стали препятствием для естественного восстановления лесных сообществ.

Интродукцию чужеземных пород нередко оправдывают неспособностью местных видов к возобновлению после уничтожения леса. Однако при этом забывают, что появление новоселов вносит дополнительные осложнения в судьбу расте-

ний-аборигенов: создаваемая интродуцентами новая среда обитания чаще всего непригодна для местных видов и уменьшает их шансы на выживание. Исключение из этого правила очень редки: на Сейшельских о-вах, например, местные эндемичные виды хорошо возобновляются под пологом интродуцированной *Adenanthera pavonina*<sup>5</sup>.

Сведение леса вызывает глубокие нарушения тропических экосистем. Из-за высокой активности биологических процессов почвы здесь, как правило, бедны, питательные вещества не накапливаются в них, а находятся в постоянном круговороте, т. е. включены в огромную биомассу тропического леса. Поэтому при вырубке и органические, и минеральные соединения безвозвратно выносятся из экосистем, деградация которых усугубляется еще быстрой и сильной эрозией незащищенных почв во время бурных тропических ливней. В результате развитие растительного покрова отбрасывается на самые ранние стадии, изменения принимают необратимый характер и ставят под угрозу целые комплексы видов и неповторимые лесные сообщества.

На примере островных флор особенно наглядно подтверждается простая истина, которой, к сожалению, часто пренебрегают: нельзя вмешиваться в природу, не зная ее восстановительную способность. Именно на этой способности должны основываться пределы допустимой эксплуатации природных богатств. Никто ведь не собирался уничтожить ценные тропические породы; казалось само собой разумеющимся, что в благодатном тропическом климате они должны восстанавливаться после рубок не хуже многоствольных европейских пород. Сейчас приходится дорого расплачиваться за это незнание.

Из-за сложного видового состава тропических лесов, диффузного характера популяций и низкой репродуктивной способности большинства видов в тропиках особенно трудно определить оптимальный размер заповедных участков, способных обеспечить экологическое равновесие и устойчивое самовозобновление населяющих их видов. В заповеднике Бацит Тимах на о-ве Сингапур лес еще великолепен, но он обречен, так как на площади в 75 га нельзя сохранить жизнеспособные популя-

<sup>5</sup> Vesey-Fitzgerald D. — J. of Ecol., 1940, v. 28, p. 465.



Сейшельская пальма в ботаническом саду г. Виктория (о-в Маэ, Сейшельский архипелаг).



Берега Мальдивских о-вов окаймляют заливаемое пеним приливом мангровые заросли.



Плоды сейшельской пальмы — самые крупные в мире.

ции видов, плотность которых не превышает 13—15 особей на 100 га.

Вопрос о допустимости активного вмешательства человека в происходящие в заповедниках процессы, который все еще остается спорным в странах умеренного климата, на тропических островах решается однозначно: без помощи человека, основанной на глубокоом изучении жизни растений и их сообществ, многие островные виды не удастся сохранить даже в заповедниках, так как их природные экосистемы слишком сильно изменены и сокращены.

Представляя собой упрощенные модели сложных природно-территориальных материковых комплексов, острова являют печальный пример того, что может произойти и на материках. И там заповедники, разделенные обширными преобразованными человеком территориями, могут оказаться в положении ложно-островных биот. Поэтому для понимания происходящих в них процессов очень важно знать, как изменяются островные флоры под влиянием человека.

## Радионебо

Р. Вилебинский

Предлагаемая читателям «Природы» статья написана одним из ведущих специалистов по радиоастрономии — профессором Рихардом Вилебинским. В настоящее время Р. Вилебинский — директор самого крупного полноповоротного радиотелескопа диаметром 100 м, который расположен в Эффельсберге, вблизи Бонна (ФРГ).

Р. Вилебинскому удалось организовать крупную международную программу по комплексному исследованию нашей Галактики в радиодиапазоне совместными усилиями радиобсерваторий Северного и Южного полушарий. Подобные полные обзоры всего неба являются основой для дальнейших фундаментальных исследований. Работу, выполненную под руководством Р. Вилебинского, можно отнести к числу крупнейших в радиоастрономии за последнее десятилетие. Обработка огромного массива разнородных данных потребовала создания специального математического обеспечения и методов представления данных. Полученное в процессе исследований цветное радионизображение Млечного Пути оказалось весьма полезным специалистам. Сейчас на основе полной картины радионизображения неба в дециметровом и метровом диапазонах многие радиобсерватории мира ведут детальное исследование отдельных участков Млечного Пути на различ-

ных волнах радиодиапазона. Подобные исследования проводятся и в СССР с помощью радиотелескопа РАТАН-600\*. Так, недавно закончена обработка глубокого «разреза» Млечного Пути в сантиметровом диапазоне волн, что дает возможность рассмотреть тонкую структуру нашей Галактики с чувствительностью, в 100 раз более высокой.

РАТАН-600 и 100-метровый парабоид — дополняющие друг друга инструменты. Сейчас с помощью этих двух радиотелескопов ведется комплексное изучение различных областей неба по согласованной программе. Помимо исследований радионизлучения Млечного Пути, в программу входит изучение и более далеких объектов, таких как скопления галактик, фоновое излучение Вселенной и т. д. Но это уже тема для другой статьи.

Член-корреспондент АН СССР Ю. Н. Парийский,  
заместитель директора Специальной  
астрофизической обсерватории АН СССР

\* О конструкции РАТАНА-600 подробнее см., напр.: К а й д а н о в с к и й Н. Л. РАТАН-600 — телескоп нового поколения. — Природа, 1976, № 9, с. 3.

В настоящее время для изучения Вселенной астрономы используют весь частотный диапазон электромагнитного спектра. Однако начиналась астрономия с наблюдений в оптическом диапазоне, так как свет достигает поверхности Земли именно сквозь это окно прозрачности в земной атмосфере. Изучая небо сначала невооруженным глазом, а затем с помощью различных угломерных инструментов, астрономы отмечали некоторые особенности в движении небесных тел. После изобретения телескопа возможности детального изучения неба резко возросли, и оптическая астрономия позволила хорошо узнать видимую часть Вселенной.

Пятьдесят лет назад было впервые зарегистрировано радионизлучение Млечного Пути. С этого момента на невидимую

до тех пор Вселенную стало возможно смотреть сквозь другое окно прозрачности в земной атмосфере и ионосфере — сквозь «радиоокно». Дальнейшее бурное развитие радиоастрономии было связано с усовершенствованием антенн, прогрессом электроники и вычислительной техники. Но все же наиболее интересная информация о наблюдаемой части Вселенной была получена в результате комбинации оптических и радионаблюдений. В последние годы благодаря развитию космической техники наблюдения стали вестись в рентгеновском и гамма-диапазонах, а используя высокогорные обсерватории, аэростаты и искусственные спутники Земли, астрономы смогли зарегистрировать ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Теперь небесные объекты изучаются в широком диа-



Рихард Вилебинский, один из директоров Радиоастрономического института им. М. Планка (Эффельсберг, ФРГ), почетный профессор Боннского университета. В 1968—1970 гг. работал в Сиднейском университете (Австралия), где занимался вопросами конструирования антенн, радиоастрономическими методами измерений и наблюдениями пульсаров. С 1970 г. работает в Эффельсберге. В «Природе» опубликовал статью: Радиоастрономические исследования галактик (1978, № 4).

пазоне частот, охватывающем десятки октав. Вся эта информация подобна гигантской мозаике, которую необходимо правильно собрать, чтобы человек смог понять законы Вселенной.

Итак, радиоастрономия берет свое начало с 1932 г., когда Карл Янский, радиоинженер телефонной компании «Бэлл» (США), случайно открыл радиоизлучение внеземного происхождения. Исследуя причины помех в радиосвязи, он обнаружил, что помимо радиосигналов от грозовых разрядов наблюдается постоянное космическое «шипение», идущее от Млечного Пути, причем интенсивность этого космического излучения становилась наибольшей, когда антенна была направлена на центр Млечного Пути. Как мы теперь знаем, объяснение, предложенное Янским, считавшим, что источник радиоизлучения — звезды, было неточным. Тем не менее исследование Янского были первым наблюдением «радионеба».

Как известно, свет во Вселенной излучается горячим веществом. Так, звезды испускают свет, который можно увидеть с помощью оптических телескопов. Наблюдаемый нами Млечный Путь — это наша Галактика, гигантское скопление миллиардов звезд. Большие оптические телескопы регистрируют излучение звезд не только нашей, но и соседних галактик. От каждой звезды, кроме того, идет поток слабого радиоизлучения. Но все-таки основной источник радиоизлучения во Вселенной не звезды, а разреженная среда.

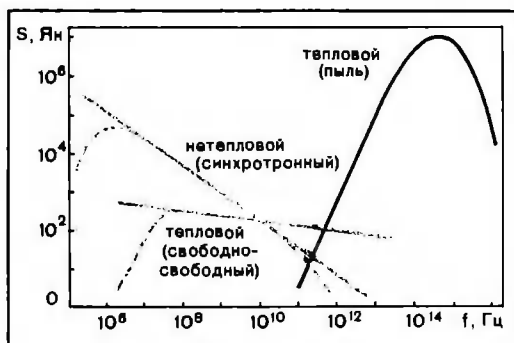
В радиоастрономии известно несколько механизмов радиоизлучения. Один из наиболее распространенных — тепловое излучение электронов (так называемые свободно-свободные переходы). Этот механизм излучения присущ H II-областям — горячим газовым облакам водорода, которые ионизируются и нагреваются излучением массивных молодых звезд. (Поэтому именно по тепловому излучению, в пер-

вую очередь, находят области, в которых идет активный процесс рождения звезд.) Тепловое неполяризованное излучение испускается горячей плазмой с температурой около 10 000 К. Плотность потока такого теплового источника (H II-области) описывается уравнением:

$$S_{\text{тепл}} \sim n_e^2 T_e^{-0,35} \theta^2 D \nu^{-0,1},$$

где  $n_e$  — электронная плотность,  $T_e$  — кинетическая температура электронов,  $\theta$  — угловой размер H II-области, расположенной на расстоянии  $D$  от нас,  $\nu$  — частота излучения.

Другой механизм, ответственный за большую часть энергии, выделяемой в длинноволновом диапазоне, — это нетепловое (или синхротронное) излучение. Релятивистские электроны, источником которых являются, например, сверхновые звезды, при взаимодействии с магнитным по-



Спектры теплового (свободно-свободного), теплового (пыли, или чернотельного) и нетеплового (синхротронного) излучений. Завал спектра [показан пунктиром] в сторону длинных волн (низких частот) вызван тем, что излучение источника поглощается в нем самом; на коротких волнах при синхротронном механизме излучения завал в спектре связан с высвечиванием электронов высоких энергий. По оси абсцисс отложена частота  $f$ , по оси ординат — плотность потока излучения  $S$ .





Новый 30-метровый радиотелескоп в Пико Велете (Испания), предназначенный для проведения наблюдений в миллиметровом диапазоне волн. Сконструирован специалистами Института радионастрономии им. М. Планка, но будет использоваться Институтом радионастрономии миллиметровых волн (Гренобль, Франция).

100-метровый радиотелескоп в Эффельсберге (ФРГ). Это полноповоротное зеркало, с помощью которого можно проводить наблюдения вплоть до частоты 50 ГГц (длина волны 6 мм).

лем тормозятся, излучая поляризованные радиоволны. Плотность потока нетеплового излучения можно представить выражением:

$$S_{\text{нетепл}} \sim N_{\text{рел}} B_{\perp}^{\alpha+1} \nu^{-\alpha},$$

где  $N_{\text{рел}}$  — число релятивистских электронов,  $B_{\perp}$  — напряженность магнитного поля, перпендикулярного лучу зрения, а спектральный индекс  $\alpha$  равен, как правило, 0,75. Привлекая именно этот механизм высвобождения энергии, И. С. Шкловский в 1953 г. смог успешно объяснить радиоизлучение от остатков сверхновых, образовавшихся во время взрыва проэволюционировавших звезд. Этим же механизмом объясняется и «космический шум», который наблюдал Янский в 1932 г.

В настоящее время построены гигантские радиотелескопы, работающие в разных частотных диапазонах. Например, советский стационарный радиотелескоп РАТАН-600, расположенный на Северном Кавказе, действует в диапазоне волн от 1 до 30 см. В этом же коротковолновом диапазоне работает 100-метровый полноповоротный радиотелескоп в Эффельсберге (ФРГ). Радиотелескопы апертурного синтеза<sup>1</sup>, такие как VLA (Very Large Array — очень большая решетка радиоастрономических антенн) в Сокорро (США) или радиотелескоп в Вестерборке (Голландия), позволяют с высоким угловым разрешением изучать ограниченные участки неба. С помощью построенного в Пико Велете (Испания) 30-метрового телескопа скоро можно будет принимать радиоизлучение неба в миллиметровом диапазоне волн.

Чтобы построить радиокарту участка неба, сплошное зеркало радиотелескопа должно «просмотреть» эту область в растровом режиме, подобном системе развертки в телевизионной трубке. На радиотелескопе используются малошумящие приемники, которые многократно усиливают принимаемый слабый сигнал. Затем значения интенсивностей сигналов преобразуются в матрицу чисел (двумерную картину распределения интенсивности). После этого могут быть построены линии равной интенсивности — изофоты, представляющие картину радионеба. Для отображения интенсивностей вместо изофот можно использовать различные цвета; обычно красным обозначают самое интенсивное излучение, а темно-синим — «холодные» участки неба.

Радиокарту всего неба получить чрезвычайно трудно. Для ее построения сходные по конструкции телескопы должны располагаться в Северном и Южном полушариях Земли. Кроме того, для обзора всего неба необходимо значительное время наблюдений. Наконец, огромный объем информации требует хорошо отлаженной системы обработки данных, поэтому сердцем подобной системы, конечно, является мощная ЭВМ.

Обзор всего неба на частоте 408 МГц был тщательно спланирован. Первые наблюдения проводились с помощью 76-мет-

рового зеркала в Джодрелл Бэнк (Англия). Затем обзор большей части неба был продолжен на 100-метровом зеркале в Эффельсберге и закончен на радиотелескопе в Парксе (Австралия). Диаметр зеркала австралийского телескопа (64 м) и определил разрешение, с которым построен весь обзор, —  $0^{\circ},8$ . Даже при таком «низком» угловом разрешении для построения карты всего неба потребовалось обработать 3 млрд чисел, чтобы сформировать полумиллионную матрицу.

На карте, полученной Г. Хасламом и его коллегами в Институте радиоастрономии им. М. Планка, можно различить обилие деталей. Вдоль плоскости Галактики отчетливо прослеживается интенсивное смешанное радиоизлучение от горячих ионизованных H II-областей и остатков сверхновых звезд. Хорошо различаются известные яркие источники, такие как остатки сверхновых Кассиопея-А и Телец-А (или Крабовидная Туманность). Комплексы местных спиральных рукавов Лебедь-X и Парус-X видны с ребра как сложные области теплового и нетеплового излучения. При удалении от галактической плоскости заметны яркие радиогалактики Лебедь-А, Центавр-А, Дева-А, Гидра-А и яркие источники в созвездиях Печи и Живописца. В южной части неба отчетливо наблюдаются Большое и Малое Магеллановы Облака — ближайšie к нам внешние неправильные галактики. Область относительно небольшого увеличения радиоинтенсивности к югу от Кассиопея-А — это соседняя спиральная галактика М 31 в созвездии Андромеды. На полученной карте видны также многочисленные петли, среди которых выделяется Северный Полярный Шпур. Считается, что эти грандиозные «арки» представляют собой остатки очень близких сверхновых звезд. Самые холодные участки на карте расположены в Южном небе ( $30^{\circ}$  выше и ниже галактической плоскости, на долготе  $240^{\circ}$ ).

Радиотелескоп регистрирует излучение от различных объектов, расположенных вдоль луча зрения. При регистрации непрерывного излучения тепловых и нетепловых радиоисточников (радиоконтинуума) невозможно различить, исходит оно от слабых близких объектов или от сильных далеких. Чтобы понять природу радиоизлучения, видимого на карте 408 МГц, было проведено машинное моделирование. Эту процедуру легче всего понять, обратившись к карте распределения интенсивности радиоизлучения по галактической плоскости. Из независимых наблюдений об-

<sup>1</sup> Подробнее о таких телескопах см., напр.: Матвеев Л. И. Сверхдальняя радиоинтерферометрия. — Природа, 1982, № 7, с. 56.



ластей нейтрального водорода H I, молекул окиси углерода и т. д. мы знаем, что наш Млечный Путь — это спиральная галактика. Нам также достаточно хорошо известны параметры синхротронного излучения — плотность релятивистских электронов, напряженность магнитного поля и т. д. Построенная на основе этих данных компьютерная модель должна соответствовать реально наблюдаемой картине радиоизлучения вдоль галактической плоскости. Путем перебора различных моделей добиваются максимального приближения к результатам наблюдений. Итог такого моделирования, выполненного С. Филлипсом с сотрудниками (Университет в Дархэме, Англия; Институт радиоастрономии им. М. Планка, ФРГ), приведен на одном из рисунков. Области интенсивного радиоизлучения изображены на нем темным цветом, а зоны более слабого излучения — светло-серым цветом. Видно, что и в радиоконтинууме хорошо наблюдается спиральная структура.

Строя трехмерную модель интенсивности радиоизлучения в континууме, мы пытаемся ответить на вопрос, как выглядит наш Млечный Путь, если смотреть на него с другой удаленной галактики. Этот вопрос изучался многими астрофизиками на протяжении жизни двух поколений. Так, например, в Советском Союзе И. С. Шкловским и В. Л. Гинзбургом независимо была создана модель Млечного Пути, состоящая из диска и гало. Модель нашей Галактики, наилучшим образом совпадающая с наблюдениями на частоте 408 МГц, представляет собой тонкий диск и широкое гало. Излучение диска примерно в десять раз интенсивнее излучения гало. Такая форма характерна и для некоторых соседних галактик, например NGC 891 или NGC 4631, видимых с ребра.

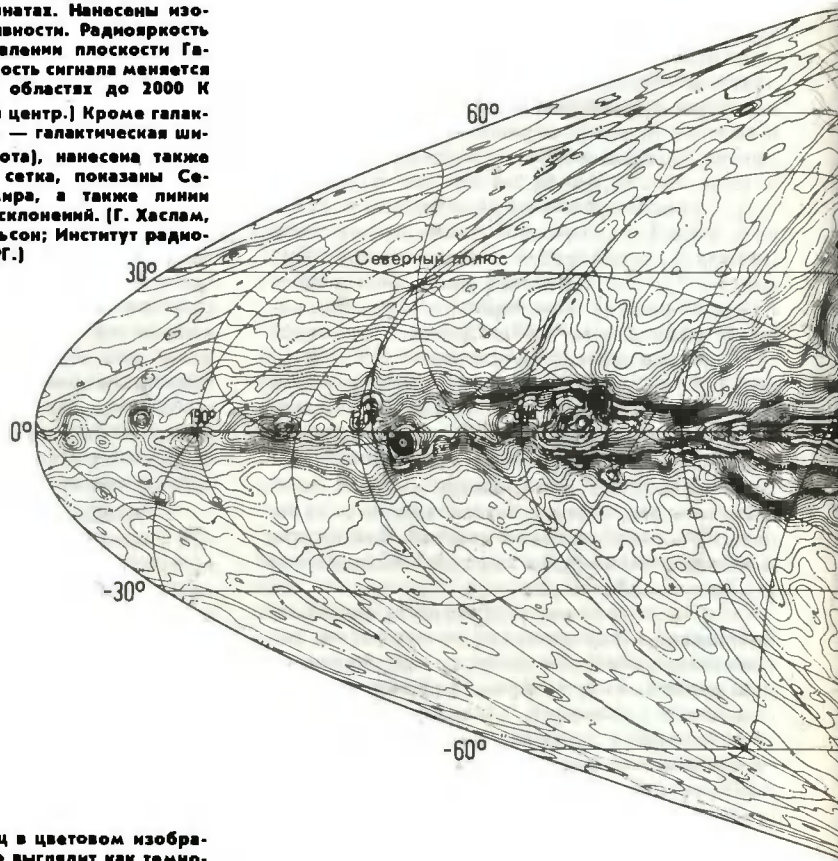
Излучение радиоконтинуума тесно связано с  $\gamma$ -излучением. Галактические  $\gamma$ -лучи с энергиями около 100 МэВ возникают при торможении космических электронов с энергией в несколько сот МэВ в межзвездном газе, а также в результате распада нейтральных пионов. Интенсивность межзвездного  $\gamma$ -излучения пропорциональна произведению интенсивности космических лучей и суммарной плотности газа. Синхротронное излучение в континууме на частоте 408 МГц возникает благодаря космическим электронам с энергией в несколько ГэВ. Его интенсивность пропорциональна произведению плотности этих электронов на квадрат напряженности магнитного поля. Карта  $\gamma$ - излу-

чения вдоль галактической плоскости была получена недавно Х. Майер-Хассельвандером с сотрудниками (Институт космической физики им. М. Планка, ФРГ) с помощью специального  $\gamma$ -детектора, установленного на спутнике «COS-B». Если сопоставить эту карту с радиоизображением центральной части обзора неба на частоте 408 МГц, то можно отметить высокую степень соответствия между радиоконтинуумом и  $\gamma$ -излучением вдоль галактической плоскости. Распределение плотности газа, содержащего «вмороженное» магнитное поле, идентично радиоконтинууму. В то же время вдали от галактической плоскости распределение радиоконтинуума шире. Это должно быть обусловлено распространением релятивистских электронов, ответственных за радиоконтинуум, в стороны от галактической плоскости.

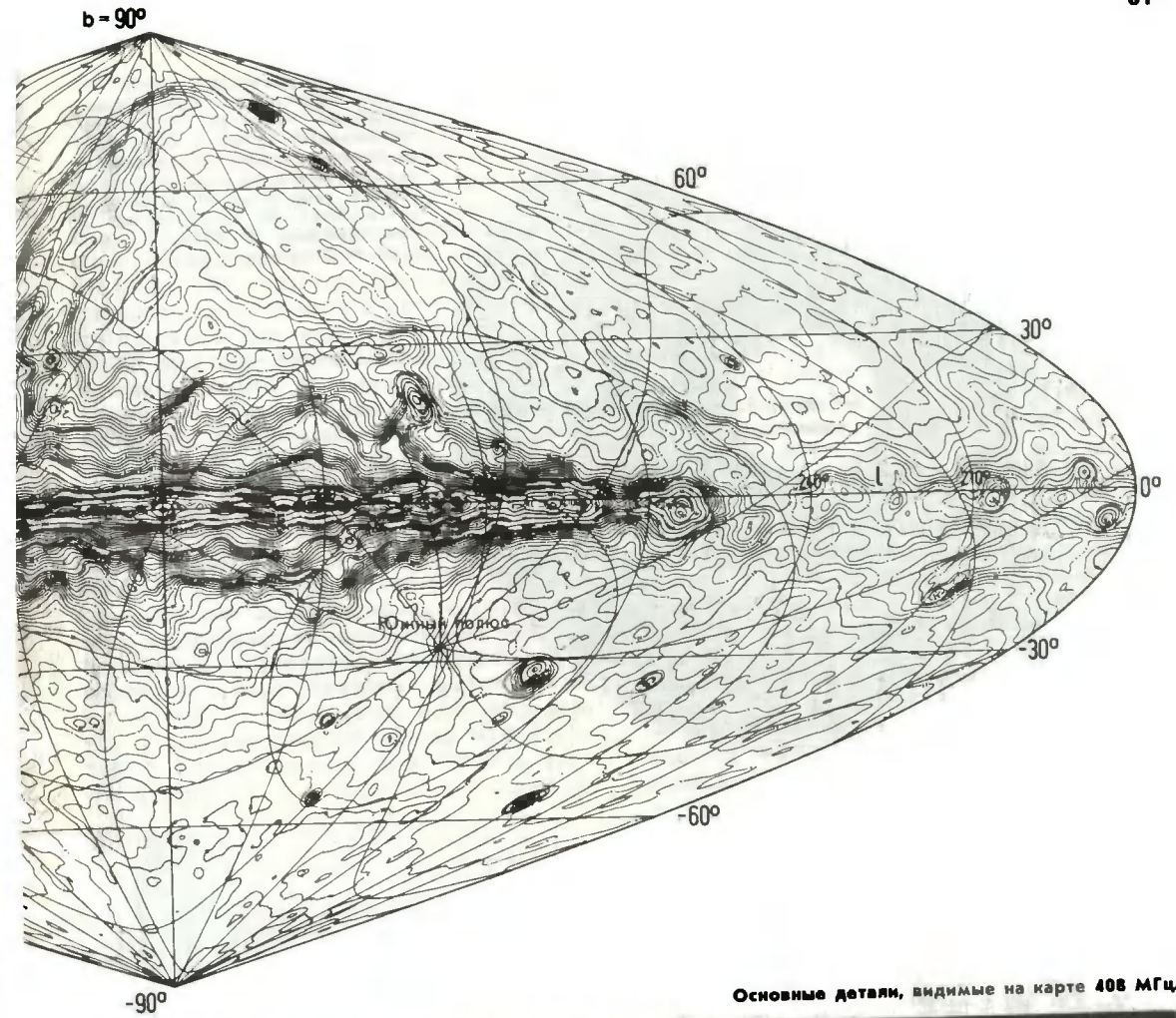
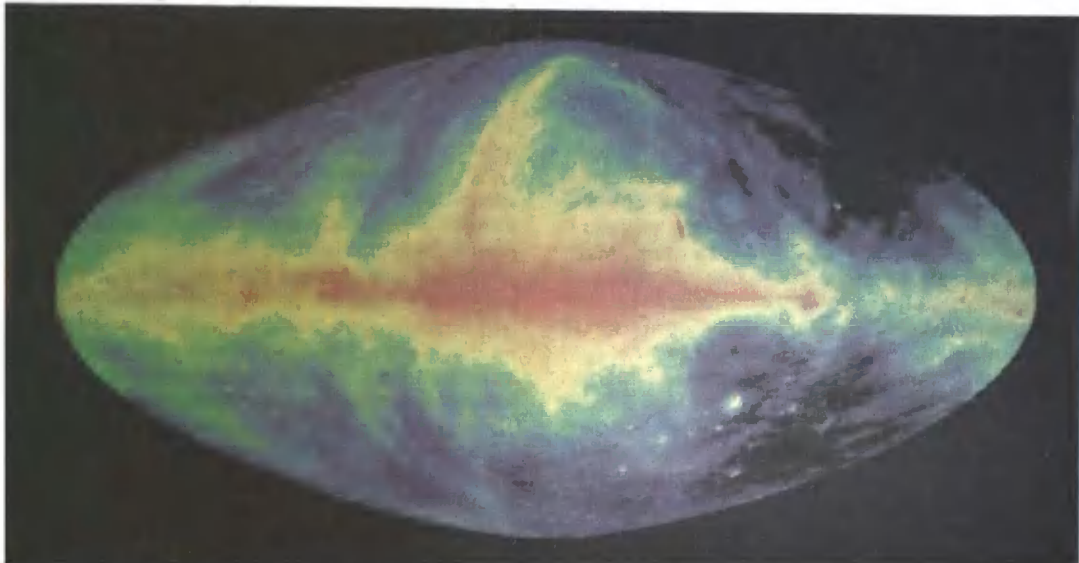
Необходимо, однако, подчеркнуть, что радиообзор всего неба позволяет получить только общую картину; многие детали, особенно вдоль галактической плоскости, нужно изучать с лучшим угловым разрешением. Это можно сделать с помощью больших полноповоротных радиотелескопов, уменьшая длину волны (увеличивая частоту). Например, на частоте 1,4 ГГц эффельсбергский радиотелескоп обладает разрешением  $9'$ , а на частоте 2,7 ГГц наше «зрение» становится еще острее — разрешение повышается до  $4',4$ . Мы можем картографировать относительно большие области неба по долготе и затем соединять полученные карты в одну непрерывную полосу неба в галактической плоскости. Такие карты — настоящая сокровищница для радиоастрономов. Например, мы получили радиоизображение значительной части галактической плоскости на частоте 1420 МГц. Затем на частоте 2700 МГц были исследованы отдельные, наиболее интересные участки этой карты, где уже можно было различить детали некоторых сверхновых звезд. По картам с таким разрешением можно распознать, например, H II-области — по их спектру, который получается при сравнении радиокарт на разных частотах. Отметим также, что слабое радиоизлучение остатков сверхновых часто поляризовано. Линейная поляризация возникает при нетепловом механизме излучения в присутствии достаточно однородных магнитных полей. Таким образом, радионебо вдоль галактической плоскости — это огромные «джунгли», в которых можно найти много интересного.

На радиокarte, полученной на частоте 408 МГц, вдали от галактической плоско-

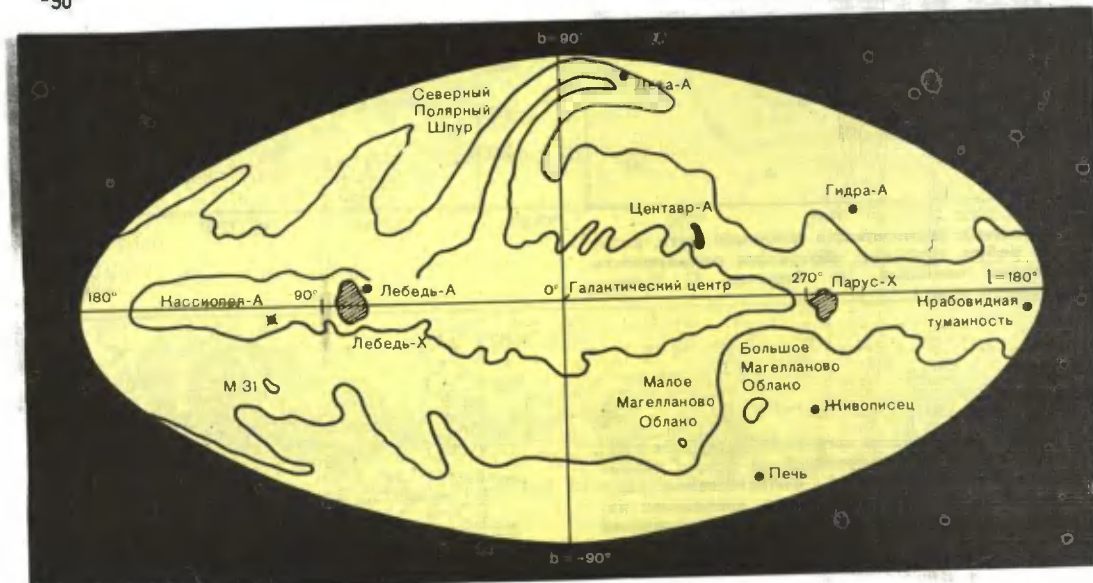
Карта обзора неба на частоте 408 МГц (длина волны 73 см) в галактических координатах. Нанесены изофоты — линии равной интенсивности. Радиояркость излучения возрастает в направлении плоскости Галактики и ее центра. [Интенсивность сигнала меняется от 20 К в самых «холодных» областях до 2000 К в направлении на галактический центр.] Кроме галактической системы координат ( $b$  — галактическая широта,  $l$  — галактическая долгота), нанесена также экваториальная координатная сетка, показаны Северный и Южный полюсы мира, а также линии равных прямых восхождений и склонений. [Г. Хаслам, С. Солтер, Х. Стоффель, В. Вильсон; Институт радиоастрономии им. М. Плянка, ФРГ.]

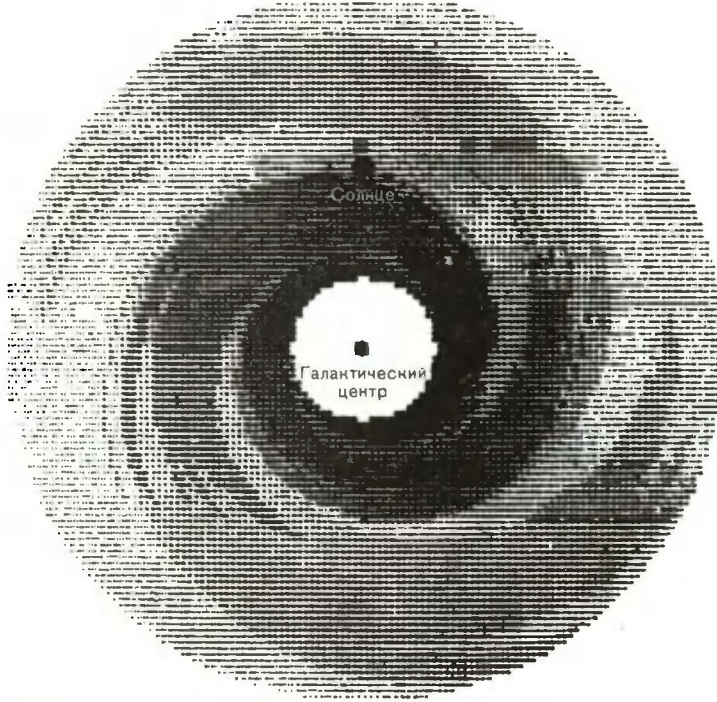


Обзор неба на частоте 408 МГц в цветовом изображении. Самое слабое излучение выглядит как темно-синее, самое интенсивное — красное. Цвета условные.

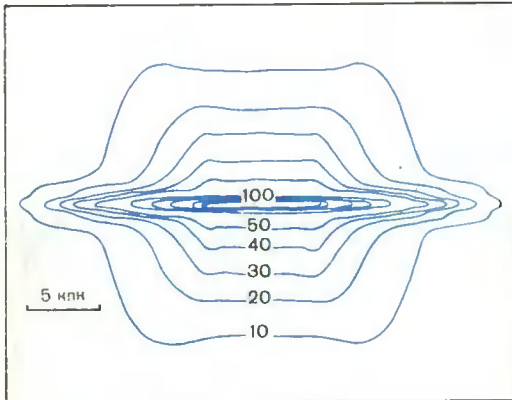


Основные детали, видимые на карте 408 МГц.

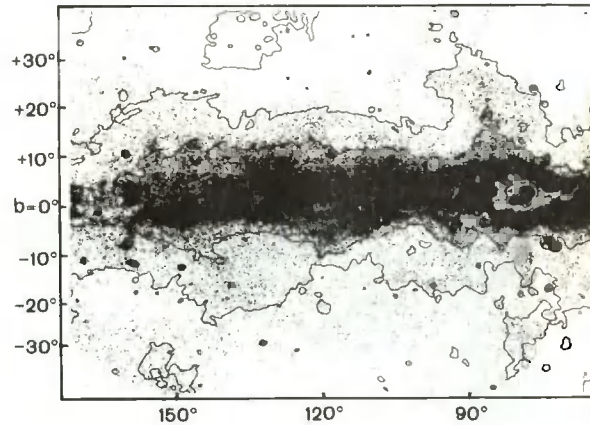




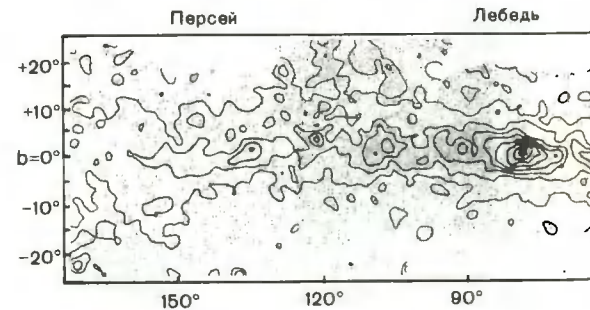
**Модель галактической плоскости. Темные области соответствуют интенсивным областям излучения, светло-серые — слабым. Обозначено положение центра Галактики и Солнца. Белое пятно в центре — область галактической плоскости, исключенная из рассмотрения в данной модели. [С. Филлипс, Г. Хаслам, Х. Стоффель и др.]**



**Распределение интенсивности Млечного Пути, видимого с ребра. Цифрами обозначена радиовярность в условных единицах. [С. Филлипс, Г. Хаслам, Х. Стоффель и др.]**



**Сравнение радиокарты на частоте 408 МГц (вверху) и карты  $\gamma$ -излучения, полученной на основе данных спутника «COS-B» (внизу). Сопоставление карт, полученных в далеко разнесенных диапазонах излучений, позволяет делать выводы о физической природе различных источников. [Г. Хаслам и др., Р. Майер-Хассельвандер и др.]**

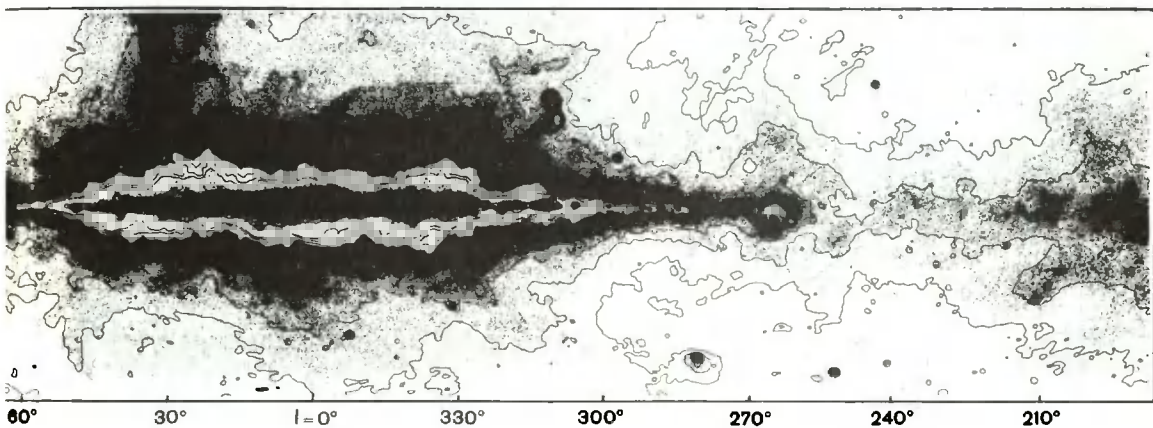


сти можно различить соседние галактики и радиогалактики. Это очень интересные для изучения объекты, потому что только в сравнении с другими подобными галактиками мы можем постичь строение Млечного Пути. На долготе  $l=310^\circ$  и широте  $b=20^\circ$  особенно выделяется южная радиогалактика Центавр-А. Это эллиптическая галактика, в центре которой расположен компактный радиоисточник огромной энергии. Его угловые размеры составляют менее  $0'',001$ , поэтому радиоизображение такого источника можно получить, лишь объединив в межконтинентальный интерферометр несколько радиотелескопов, расположенных на разных континентах. Для таких объектов характерно наличие сильно сжатых «выбросов» из центрального источника, переносящих энергию во внешние области радиогалактики. Из внешних областей, которые могут отстоять на миллион световых лет от родительской галактики, энергия «выбросов» излучается во всех направлениях. (Иллюстрацией такого типа объектов может служить радиогалактика ЗС 449. Ее наблюдения были проведены с помощью радиотелескопа VLA в Сокорро, США). На радиокarte 408 МГц, кроме Центавра-А, и многие другие радиога-

лактики — Лебедь-А, Дева-А, Гидра-А и Печь-А — видны как дискретные источники.

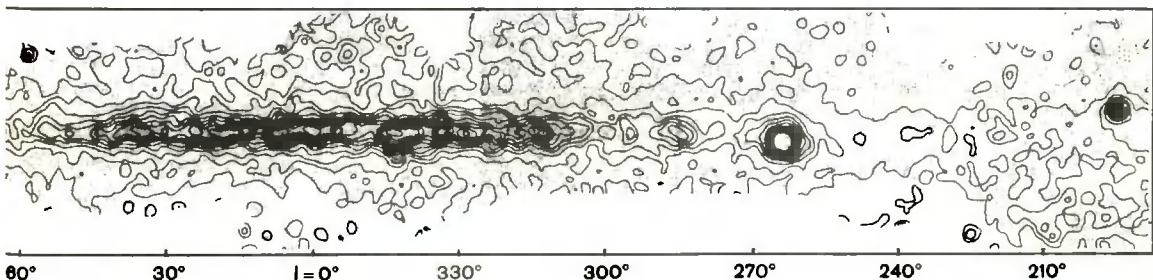
Ближайшие «нормальные» галактики, подобные М 31 (Туманность Андромеды) или М 33, на частоте 408 МГц наблюдаются как очень слабые объекты. Но ведь и радиопоток от нашей Галактики как целого также был бы очень слабым, если бы мы изучали ее с расстояния в 2 млн световых лет. Зато при наблюдениях таких спиральных нормальных галактик все детали, аналогичные структуре Млечного Пути, находятся на одном и том же расстоянии.

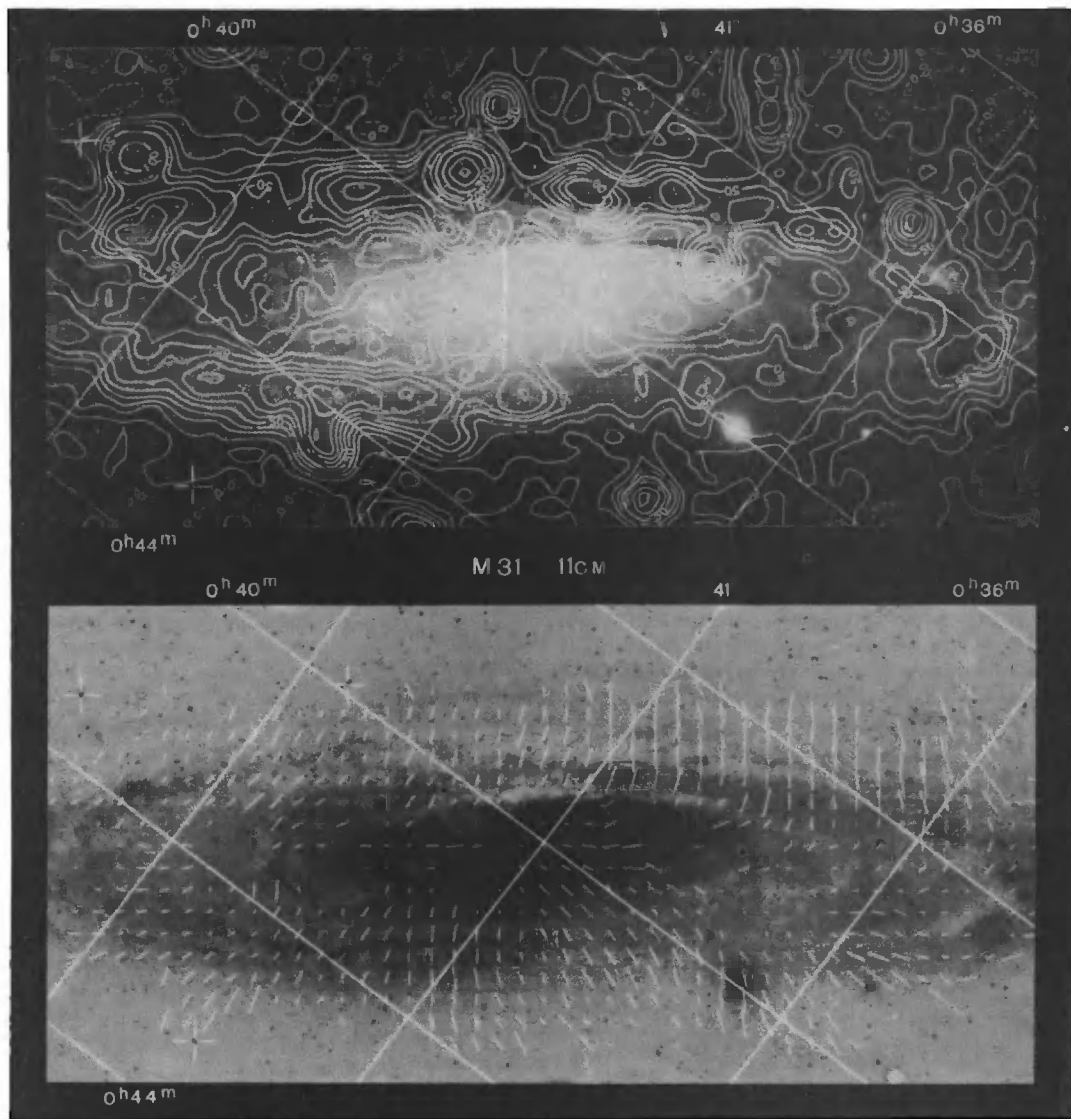
Исследование объектов, подобных М 31, показывает, что в них распределение излучения совпадает со спиральными рукавами. Между рукавами видны «дыры» (минимумы излучения), свидетельствующие о том, что излучение гало невелико. При синхротронном механизме излучения наблюдения линейной поляризации указывают на присутствие магнитных полей, вытянутых вдоль спиральных рукавов. Исследование галактик, видимых с ребра, позволяет изучить распространение релятивистских электронов в направлении от плоскости галактики (места, где они образуются). Большинство таких галактик не имеет широкого гало. Исключение, как ока-



Миль

Геминга





Вверху — изображение соседней спиральной галактики Туманность Андромеды (M 31) на волне 11 см. Радиокarta наложена на оптическое изображение Туманности. Нанесена экваториальная координатная сетка. Внизу — поляризация нетеплого излучения от M 31. Белые штрихи — векторы электрического поля, ориентированные перпендикулярно магнитному полю. Длина штрихов пропорциональна проценту поляризации. (Р. Бек, Э.Берхьюзен, Р. Вилебинский; Институт радиоастрономии им. М. Планка, ФРГ.)

здесь, составляет галактика NGC4631, которая характеризуется обширной зоной излучения, далеко отстоящей от диска. Отсюда было сделано заключение, что галактические ветры переносят энергию на значительные расстояния от плоскости галактики.

Заканчивая статью, мне хочется еще раз подчеркнуть, что исследования в радиодиапазоне, составление карт радионеба открывают неограниченные возможности для изучения процессов высвобождения и переноса энергии во Вселенной.

Перевод с английского А. В. Темировой.

## Живой камень памятников

П. В. Флоренский



Павел Васильевич Флоренский, доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии и геохимии осадочных пород Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина. Занимается широким кругом геологических проблем: глубинным строением нефтегазоносных территорий, обработкой космической информации, сравнительной планетологией. Автор многих статей в «Природе», в том числе: Белый камень белокаменных соборов (совместно с М. Н. Соловьевой), 1972, № 9.

Посвящается памяти К. П. Флоренского

Гордость наших городов, сел, украшение природы — архитектурные памятники старины. Они удивительно гармонично вписываются в окружающий мир, не только дополняют, но и формируют ландшафт, становясь его организующим центром. Чем древнее памятники, чем больше исторических событий и традиций связано с ними, тем сильнее замыкают они вокруг себя природу, историю, пространство и время. Тысячи людей любят памятниками архитектуры и каждый видит их немного по-своему. Свой взгляд на них и геолога, изучающего жизнь камня в природе. Геологическое осмысление целого ряда явлений и процессов, происходящих с памятником, необходимо для его реставрации и охраны. Уместность и справедливость такого подхода показал, опираясь на учение В. И. Вернадского о ноосфере, его ученик К. П. Флоренский (1915—1982)<sup>1</sup>. С геологических позиций и написана эта статья.

Занимая центральное место в ландшафте, памятники архитектуры являются его аномалией с геохимической точки зрения. Каким образом? Любое здание находится на поверхности земли — на границе твердой, жидкой и воздушной среды, где происходят самые контрастные изменения свойств и состояния вещества: здесь идут преобразующие облик земли процессы выветривания. Если поверхность ровная, они распределяются равномерно, но всякое нарушение, в том числе и постройка или, напротив, выемка, ров, — всякое, повторяю, нарушение становится местом, где процессы выветривания концентрируются словно в фокусе линзы, и все они стремятся уничтожить эту неоднородность, выровнять поверхность. Поэтому разрушение здания природными процессами — явление естественное; тут ничего не поделаешь. Наша задача — понять, как одни процессы приостановить, а другие отвести от памятника в сторону.

В постройках камни живут по-разному — одни успешно противостоят разрушению, другие разрушаются вместе с постройкой, а третьи чутко реагируют на воздействия, постоянно приспосабливаясь к меняющимся условиям. Вот эта «жизнь»

<sup>1</sup> Флоренский К. П. О сохранении памятников культуры: мысли натуралиста. — В кн.: Памятники отечества. Кн. 2. М., 1975.



Царь Давид — барельеф в верхней части фасада Дмитриевского собора во Владимире (1193—1197). Хотя барельеф и расположен в устойчивой зоне, за 800 лет отдельные его детали начали растворяться.

Нимфа Летнего сада. Ленинград. Работа неизвестного скульптора начала XVIII в. Мрамор. На скульптуре видны следы растворения и темные потеки.



камня и всей постройки как единого целого, которую в некотором роде можно уподобить жизни растений, и является предметом нашей работы. Реставратор должен знать все о тех камнях, которые слагают или которые он вводит в реставрируемую постройку: здесь нет ничего второстепенного, здесь все камни крайольные.

Естественные камни, применяемые в строительстве, делят на силикатные и карбонатные. Силикатный камень устойчив и изменяется незаметно. Карбонатные камни — это известняк, образованный кальцитом ( $\text{CaCO}_3$ ), доломит ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), глинистый известняк, мергель и переходные разновидности между этими породами, а также мрамор. Все они соли углекислоты; некогда в начальный период существования Земли, углекислый газ был одним из основных компонентов атмосферы (он и сейчас основа атмосферы безжизненных планет Венеры и Марса). С возникновением жизни углекислый газ стал усваиваться живыми организмами; благодаря их жизнедеятельности соединился в воде с кальцием, магнием и железом и перешел в карбонаты. Поэтому карбонаты — это «окаменевшая» (в результате жизнедеятельности организмов) древняя атмосфера планеты и, с другой стороны, это продукт гидросферы; ставший частью литосферы. Карбонаты, сохраняя в себе свойства образовавшихся их стихий, находятся в динамическом равновесии с окружающей средой, органически вписываясь в нее, легко отвечая происходящим изменениям, живя вместе с ними.

В карбонатных постройках происходят разнонаправленные, нередко компенсирующие друг друга процессы, по-своему протекающие в разных климатических и географических зонах. Они проявляются особенно выразительно, поскольку известняк строительных плит един со скрепляющим их известковым раствором, и вся постройка становится однородным по химическому составу и свойствам монолитом.

## КАРБОНАТЫ РАСТВОРИМЫЕ

Из известняков и доломитов сложены памятники Владимиро-Суздальской Руси, Москвы, Ленинграда, Западной Украины, Прибалтики, Польши, ГДР и ФРГ, Франции, Италии, Греции... Но как по-разному этот камень ведет себя в разных землях! Контрасты эти можно уподобить различиям обычаев и темпераментов народов, населяющих эти земли. Однако в целом можно выделить три режима жизни камня: растворения, устойчивого состояния, эксфильтрации. Каждый из них — сплетение сложных процессов, и название режима мы даем лишь по суммарному эффекту.

Кальцит, относительно мало растворимое соединение, реагируя с водой осадков и конденсированной влагой, насыщенными углекислотой из атмосферы, в холодном климате превращается в растворимый бикарбонат кальция:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Эта реакция идет тем активнее, чем больше растворимость углекислоты в воде, т. е. чем вода холоднее. Поэтому в северных широтах карбонаты легко растворяются: следы этого процесса хорошо видны, например, на мраморных скульптурах ленинградского Летнего сада и поэтому в холодное время года над ними возводят павильоны. В Ленинграде растворяется даже известь из фундаментов зданий и остаются лишь валуны. Во Владимире и Москве растворение идет на стенах памятника выше 3—5 м от поверхности земли. Еще южнее — известняк стабилен; даже на влажном Черноморском побережье Кавказа на стенах памятников IV—IX вв., например на Иверской горе в Новом Афоне, сохранились затесы, сделанные древними строителями.

Однако растворение карбонатов усиливает растущая из-за загрязнения атмосферы «агрессивность» воды, которая, насыщаясь сернистыми соединениями, превращается в слабый раствор серной кислоты. Этот процесс усилился, когда стали топить печи каменным углем, а в наше время сера также попадает в воздух из заводских отходов и выхлопов автомобилей. Тонны сернистого газа разносятся ветрами на сотни километров: заводские выбросы из ФРГ отравляют дожди, выпадающие в Швеции; дым заводов США становится бедствием для полей Канады. Растворение карбонатов начинает проявляться и в более южных зонах: в Гре-

ции и Италии, некогда странах «вечного» мрамора.

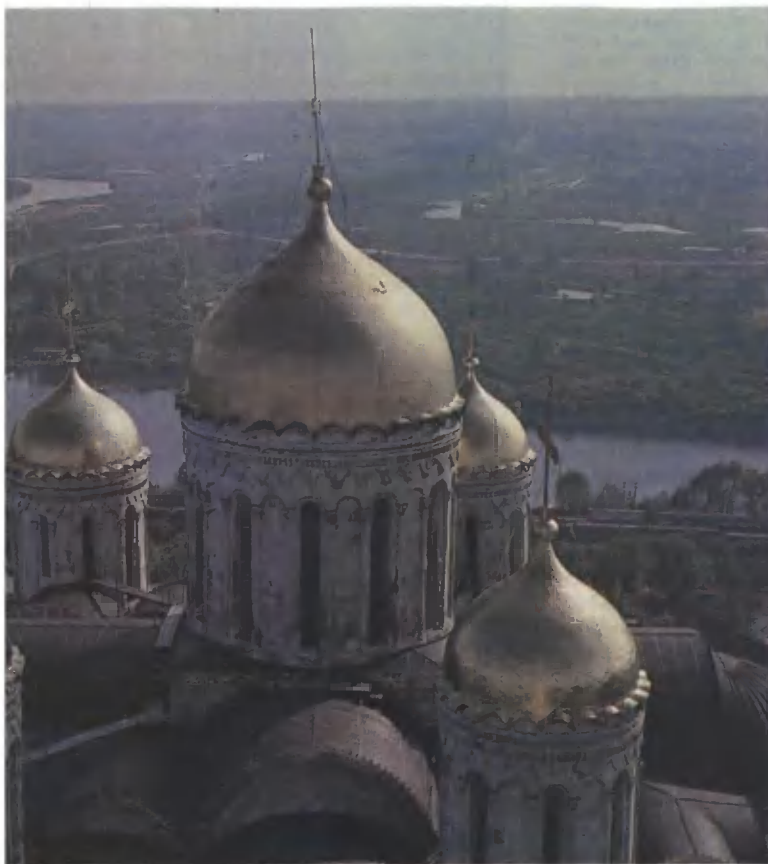
В засушливом и жарком климате при недостатке воды карбонаты не разрушаются, например в Баку, где здания построены из рыхлого ракушечника третичного возраста. Более того, в Средней Азии (Бухаре и Самарканде) стабилен даже гипс (ганч), которым издавна скрепляют кирпичи вместо извести. В Сахаре, одном из самых засушливых мест на Земле, в городах Тегизи, Бани-Абас и Альголии некоторые дома построены из... каменной соли. Соленой водой поливают дороги в пустыне Цайдам (КНР), и они становятся крепче бетонных.

Но как же предотвратить растворение карбонатных построек? На первый взгляд кажется, что достаточно покрыть стены непроницаемой пленкой, скажем масляной краской. Нет, это недопустимо, ибо влага фильтруется из глубины стен под эту пленку, камень перестает «дышать», и уже тогда-то отслаивание приповерхностных зон камня неизбежно. Пока наиболее подходящим представляется тот способ, к которому прибегали и раньше, особенно в Новгороде и Пскове: надо регулярно белить и даже штукатурить здания, так как побелка растворяется и смывается, а стена сохраняется. Разумеется, речь идет о побелке белокаменных — известняковых — стен. Курьезом стала побелка кирпичных стен церкви Зосимы и Савватия (1637) и башен Троице-Сергиевой лавры, и особенно церкви Вознесения в селе Коломенском, красоту которой придавало чередование красного кирпича и белокаменных блоков, опоясывающих церковь подобно нитям жемчуга.

## КАРБОНАТЫ УСТОЙЧИВЫЕ

Стекая по стене, воды насыщаются кальцием, и их кислотность снижается; наступает устойчивый режим карбонатов. Процесс перехода кальцита в бикарбонат кальция сменяется противоположным: на поверхности стен осаждение кальцита происходит по той же реакции, которую мы уже приводили, но теперь идущей справа налево. Выпадая из раствора, кальцит перемешивается с побелкой, глинистыми частицами и гипсом. Последний, в свою очередь, образуется при взаимодействии кальцита и сернистого газа. Хотя гипс сам по себе — свидетельство разрушения, но его смешение с побелкой, кальцитом, глинистыми (силикатными)





Успенский собор во Владимире. Построен на горе над Клязьмой в 1158—1161 гг. из нижнемячковского известняка.

частицами образует на стенах белокаменных построек карбонатно-силикатно-сульфатную пленку — патину толщиной 0,1—1 мм, защищающую поверхность стен от разрушения. Впервые она была описана А. М. Викторовым.

Состав пленки различен в разных климатических условиях и в разных частях построек. В северных районах она в основном карбонатная, а в южных — силикатная; в верхних частях здания — силикатная, в нижних — карбонатная. В городах в составе патины преобладает гипс. Так как количество серы в атмосфере в разных районах разное, то различно и содержание гипса. В белокаменных постройках Москвы гипс составляет до 7 % приповерхностной зоны, а вне пределов — менее 1 %. Таким образом, образующаяся на стенах памятников, особенно белокаменных, защитная пленка — патина предохраняет их от разрушения, и удаление ее недопустимо, ибо резко усили-

вает разрушение стен. К сожалению, такая «реставрация» делается и пескоструйным аппаратом, и путем химической чистки специальными веществами (фтористый аммоний, трилон Б и даже кислота). Оставаясь в камне, они продолжают его разрушать.

Несомненно, что подобное «подношение» собора Парижской богородицы, который стал теперь не темно-серым, а белоснежным, очень недолговременно и ускорит разрушение его поверхности. Боюсь, что таким же будет результат аналогичной расчистки и «реставрации» Дмитриевского собора во Владимире и Георгиевского в Юрьеве-Польском. Однако и этот устойчивый режим карбонатов лишь кажется устойчивым, и здесь, увы, очаги разрушения выявляют следы неграмотных реставраций, замены одного камня другим. И особенно опасна замена извести цементом, обладающим другими физико-химическими свойствами. Впервые цемент приме-

нили при реставрации кирпичного собора Рождества богородицы (1490) в Феррапонтове в 1908—1915 гг. известные тогда реставраторы П. П. Покрышкин и К. К. Романов. При повторной реставрации в 50-х годах стало ясно, что цемент стал центром активного разрушения памятника. Этот плачевный опыт часто забывают: следы цементных доделок видны на многих памятниках Московского Кремля, Загорска и совсем недавно цементом отремонтировали в Бухаре стены многих памятников, в том числе памятники XIII—XIV вв. Чашмы-Аюб — колодца пророка Иова.

### РЕЖИМ ЭКСФИЛЬТРАЦИИ

Сходство памятника с живым растением особенно велико благодаря тому, что по стенам любой каменной постройки подсасываются грунтовые воды, которые не-

редко несут растворенные в них соли. Капиллярное поднятие влаги грунтовых вод тем сильнее, чем суше и жарче климат: в Средней Азии грунтовые воды поднимаются по стенам на высоту до 3 м; а они здесь обычно соленые. Более того, они проникают даже во внутренние помещения: например, жителям Казахстана хорошо известны белые высолы на стенах квартир на первых этажах. В результате камень в основании постройки расслаивается и разрушается. В Москве соли поднимаются на высоту до метра: засолонение усилилось теперь, когда посыпают тротуары солью, чтобы ускорить таяние снега. Во влажном и холодном Новгороде и в Пскове, и, тем более, в Ленинграде эксфильтрация почти отсутствует — даже фундаменты находятся в зоне растворения.

Почвенные соли пропитывают и лежащие в них археологические предметы, поэтому, например, керамика, вынутая из влажной земли раскопок, через 2—3 дня становится покрытой горькими на вкус солями, выступившими на ее поверхности; чтобы их удалить, находки многократно

Тронце-Сергиева лавра — подлинный музей русской архитектуры.





Базы колонн южного портала собора Рождества богородицы [Суздаль]. Это был первый белокаменный собор Владимиро-Суздальской Руси, построенный в 1148 г. Хотя верхняя часть собора перестроена в 1222—1225 гг., в нижней, возможно, сохранились фрагменты древнейшей белокаменной постройки. На фотографии видно отслаивание баз колонн, находящихся в зоне эксфильтрации.

вымачивают. Засоление стен памятников архитектуры из почвенных вод изучили В. Я. Степанов и К. П. Флоренский, предложившие принципы научного геохимического контроля за их состоянием, в частности комплекс мер по борьбе с засолением: промывку стен, наложение на них компрессов которые втягивают в себя соль из стен и т. д.<sup>2</sup>

Там же, где вода не испаряется, стены памятника сырые и на них поселяются

водоросли: на северной стороне и вообще в тени стены зеленеют. Разрушение водорослями не менее вредно, чем разрушение солями. Очень хорошо отсасывают грунтовые воды деревья, но растущие рядом с зданиями растения иногда корнями разрушают фундамент. (Так произошло в Москве: корни лип, посаженных на Красной площади в 50-е годы, проникли в подвалы ГУМа и в образовавшиеся трещины стала протекать вода.) В Средней Азии, чтобы понизить уровень соленых грунтовых вод, выкапывают дренажные колодцы, из которых откачивают воду насосами. Однако в других районах можно, напротив, пробурить колодец глубже и сбрасывать грунтовые и дождевые воды в более глубокие, «сухие» горизонты, если они есть. Такой способ, как один из вариантов дренажа Рязанского холма, предложил С. Н. Чернышев. Одновременно с понижением уровня грунтовых вод необходима гидроизоляция фундамента. В постройках Древней Руси таким гидроизолятором был слой бересты (который особенно характерен для XVII—XVIII вв.), а в памятниках Средней Азии — слой циновки из камыша на 10—30 см выше поверхности. Гидроизоляция известна очень давно: вот как строилась, например, Вавилонская башня: «Наделаем кирпичей и обожжем огнем. И стали кирпичи вместо камней, а земляная смола вместо извести»<sup>3</sup>. Земляная смола — битум — играла здесь роль не только цементирующую, но и гидроизолирующую.

Как видно, постройка неразрывно связана с гидрогеологической обстановкой, а через нее — с геологией района. Как благополучие растения зависит от корней, так и сохранность строения в значительной степени определяет фундамент, на устойчивость которого влияют просадки грунта и многие другие процессы, рассматриваемые в инженерной геологии<sup>4</sup>.

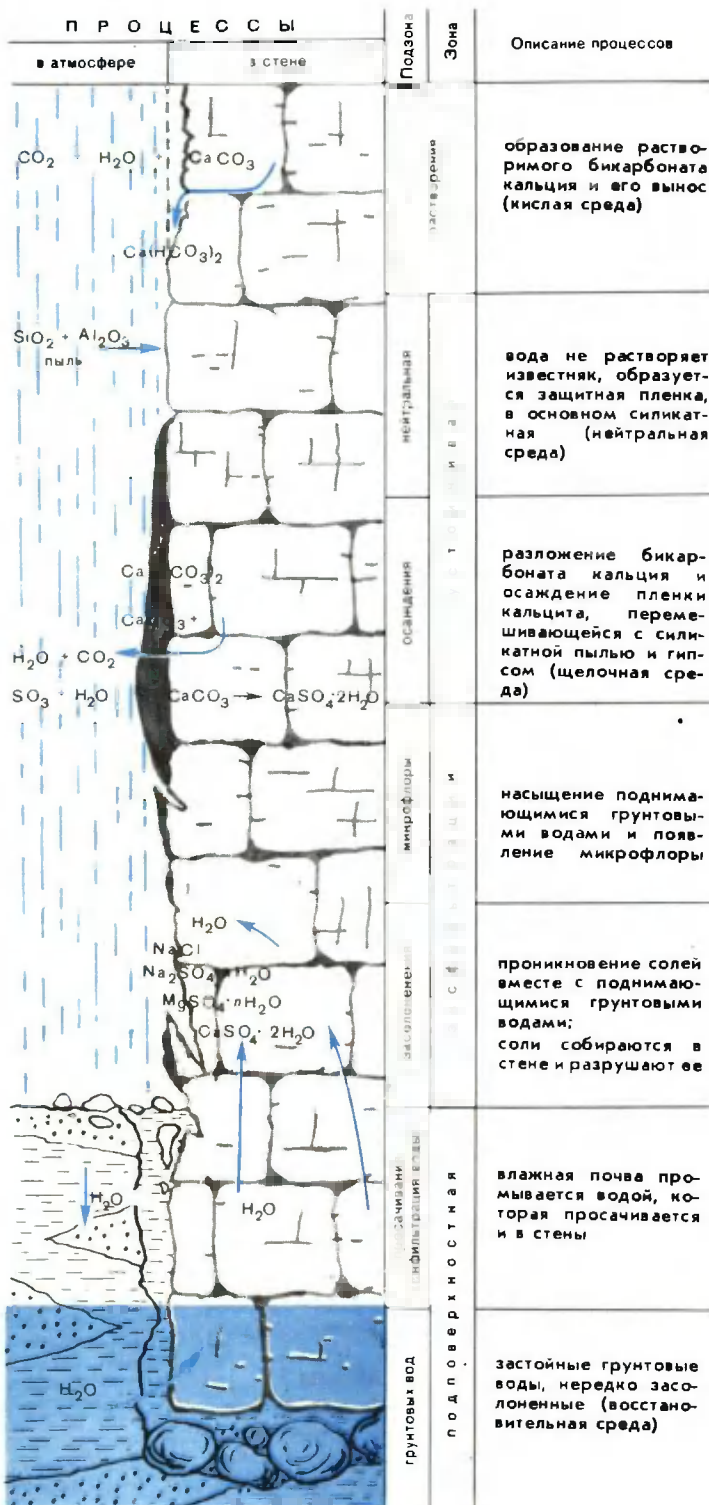
Итак, на стенах известняковых построек в средних широтах можно видеть три зоны, принципиально отличающиеся геохимическим режимом: верхнюю зону растворения, среднюю — стабильную и нижнюю — эксфильтрационную. Интенсивность свойственных им процессов, занимаемая часть стены, границы между ними определяются географическими и климатически

<sup>2</sup> Степанов В. Я., Флоренский К. П., Рудько М. В. Опыт борьбы с разрушением камня в памятниках архитектуры XIII—XIII веков. — В сб.: Памятники культуры. Исследования и реставрация. Вып. 2. Научно-методический совет по охране памятников культуры. М. — Л., 1960.

<sup>3</sup> Библия, Бытие, гл. 11, 3.

<sup>4</sup> Неспециалистам рекомендую книгу: Андерсон Дж. Г. К., Триг К. Ф. Интересные случаи из практики инженерной геологии. М., 1981.

Схема процессов, происходящих в средних широтах в стене белокаменного здания.



С. П. Н. С.



Новгород. Строительство Никольской церкви в 1438 г. Миниатюра из лицевого летописного свода XVI в. Строители несут на носилках плоскую известняковую плиту.

ми условиями: их уровень понижается в северных широтах, где нередко отсутствуют нижняя и даже средняя зоны и весь памятник подвергается растворению, например в Пскове и Новгороде. В средних широтах, например у памятников Подмоскovie, существуют все три зоны. У построек в южных районах, напротив, отсутствует растворение и очень развита нижняя, экcфильтрационная зона, которая тем сильнее, чем жарче и суше климат. И так, две накладывающиеся друг на друга зональности: вертикальная — по стене памятника — и горизонтальная, совпадающая с климатическими зонами, сменяющимися друг друга с севера на юг.

### КАМЕНЬ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ

Рассмотрим некоторые строительные камни, к которым чаще всего должны обращаться реставраторы, а также те,

которые широко используются в практике современной реставрации<sup>5</sup>.

Камень, из которого возведены древние постройки Северо-Восточной Руси, и в частности Белокаменная Москва, — известняк мячковского горизонта среднекаменноугольного возраста, сформировавшийся 300—320 млн лет назад<sup>6</sup>. Горизонт назван по селу Мячково, стоящему против устья

<sup>5</sup> Беликов Б. П., Петров В. П. и др. Природные каменные облицовочные материалы. М., 1975; Митрофанов Г. К., Шпанов И. А. Облицовочные и поделочные камни СССР (Атлас прошлифовок и указатель месторождений). М., 1970.

<sup>6</sup> Викторов А. В., Звягинцева Л. И. Белый камень. М., 1981; Бурмин Ю. А., Зверев В. Л. Подземные кладовые Подмоскovie. М., 1982; Даньшин Б. М. Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и ее окрестностей. М., 1947; Залесский Б. В., Степанов В. Я., Фло-



Церковь Преображения 1840 г., поставленная на месте древнего городища Радонежа. На переднем плане р. Пажа. Здесь создается Радонежский историко-природный заказник.

-Р  
в  
-Т  
-О

реки Пахры. Зона обнажений мячковского известняка обрамляет Московскую область с запада и юга: запасы его очень велики.

Самые древние памятники из этого камня, возникшие вслед за постройками из плоского квадратного кирпича, называемого плинфой, возведены при Юрии

Долгоруком в 1152 г. Это собор Спаса преображения в Переславле-Залесском и церковь Бориса и Глеба в Кидекше, под Суздалем. Как в этих, так и в более поздних белокаменных постройках, стены вытесаны из плотно пришлифованных плит, а внутренняя часть засыпана глыбами известняка и залита известковым раствором. В результате памятник стал монолитом. Путем детального микропалеонтологического изучения образцов из стен различных построек и сравнения их с известняками в коренном залегании М. Н. Соловьева установила, что в домонгольское время — до 1238 г. — добывали камень в основном в подземных каменоломнях по реке Пахре из низов мячковского горизонта<sup>7</sup>. А позже его

ренский К. П. Опыт изучения физико-химических свойств известняков мячковского горизонта. Мячковская группа месторождений.— Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, сер. петрограф., 1950, вып. 121, № 36; Московская группа месторождений.— Там же, вып. 122, № 37.

Соловьева М. Н., Флоренский П. В. Белый камень белокаменных соборов.— Природа, 1972, № 9, с. 48.

добычу вели во многих других местах (и особенно около села Мячково), но разрабатывали уже верхнемячковский горизонт. Поэтому в ряде памятников удалось датировать даже время добычи отдельных монолитов. Для забутовки — засыпки внутренней части стен — и выжигания извести добывали камень из разных горизонтов верхне-, средне- и нижнекаменноугольных месторождений в разных местах. Под Владимиром и даже непосредственно в самой Москве, например в Дорогомилово, были вскрыты древние каменоломни в верхнекаменноугольных отложениях.

Мячковский известняк принадлежит к лучшим карбонатным строительным камням: прочность его на сжатие составляет 100—250 кгс/см<sup>2</sup>, пористость 20 %, но открытые поры, способные пропускать воздух и влагу, составляют 5—10%, камень «дышит». Удивительна его морозостойкость: даже в стенах памятников XII в. камень почти не имеет следов морозного выветривания; но там, где он соприкасается с железными штырями и скрепляющими полосами, он выкалывается уже через 50—100 лет. Поэтому следует избегать применения при реставрации железных полос или штырей, которые могут разрывать не только белый камень, но и гранит: войдя в Центральный парк культуры и отдыха им. А. М. Горького в Москве, посетитель оказывается на приподнятой террасе, окруженной гранитными перилами: в ряде мест видно, что эти перила и поддерживающие их колонны растрескались, обнажив пронизывающие их стальные штыри.

На юге, например в Греции, успешно применялись связи мраморных монолитов из бронзы, а прокладки между ними делали из свинца. Но, во-первых, свинец — пластичен, во-вторых, там нет таких перепадов температур.

К сожалению, добыча мячковского строительного камня приостановлена без серьезных оснований, несмотря на то что только для реставрации его нужно очень много. До 1972 г. в Мячковском карьере добывали камни на щебенку взрывами динамита. Между тем следует не взрывать, а пилить камень, так как при взрывах резко возрастает его трещиноватость и камень становится непригодным к строительству. Может быть, стоит даже вести добычу не из карьеров, а закрытыми штольнями. Несомненно, что мячковский известняк должен быть не только основным материалом для реставрации, но и исполь-

зоваться при облицовке современных зданий — на протяжении многих веков он доказал свою стойкость.

Известняковая плита Северо-Западной Руси — это глинистый известняк и мергель нижнекаменноугольного и верхнедевонского возраста. Самая ранняя и непревзойденная постройка, где эта плита применялась в сочетании с плоским квадратным кирпичом — плинфой и валунами, называемыми булыгой, — это София Новгородская, возведенная в 1045—1050 гг. Сочетание известняковой плиты, кирпичной плинфы и булыги характерно для ряда ранних памятников, в том числе и для Софии Киевской, но постепенно плита вытеснила другие материалы и постройки из нее преобладали в XVI—XVII вв. Этот камень не образует больших монолитов, так как толщина слоев известняка не превышает обычно 20 см и лишь изредка достигает 40 см. Плиту добывали под Псковом: в Изборском и Выбутском карьерах, а также под Новгородом. В Петербург привозили путиловскую плиту также нижнепалеозойского возраста. Хотя прочность на сжатие плиты достаточна (300 кгс/см<sup>2</sup>), но из-за неравномерности примеси глинистого материала и других неоднородностей плита очень неморозостойка и быстро расслаивается от ежегодных смен температуры. Плита очень неоднородна и по разрезу, и по простиранию слоя, поэтому процент выбракованных камней был, несомненно, очень высок. На северо-западе нашей страны климат влажный и холодный, растворение кальцита здесь ускоряется, и понятно, почему возведенные из плиты постройки густо штукатурили и, вероятно, штукатурили регулярно. Стены же Псковского Кремля никогда не штукатурили, и поэтому разрушаются они относительно быстро, что видно не только в древних участках стен, но и в участках, построенных во время реставрации заново. Впрочем, качество камня в последних очень низкое; по-видимому, при реставрации применяли всю найденную плиту без выбраковки.

Еще одна область добычи камня, сейчас широко применяемого в строительстве и реставрации, — Крым, страна известняков: везде в Горном Крыму человека окружают белые и розовые кручи, сложенные разнообразными и разновозрастными известняками. Среди них отмечу наиболее известные.

Пористые известняки третичного возраста, которые сейчас привозят в Центральные районы, интенсивно добывают

под Бахчисараем в карьере Бодрак и под Севастополем в карьере Инкерман (ныне г. Белокаменск). К сожалению, последние два десятилетия в Москве почему-то чрезмерно широко применяют эти камни в строительстве и реставрации. Эти серовато-коричневые известняки содержат крупные, в несколько сантиметров пустоты — каверны, быстро собирающие в себя пыль и грязь. Они малопрочны (прочность на сжатие лишь 100 кгс/см<sup>2</sup>), а из-за большой открытой пористости (20—30 %) они интенсивно насыщаются

ского и Андроникова монастырей в Москве на них появились трещины, началось расслоение. Поэтому, видимо, целесообразно прекратить широкого применение дорогого и неприемлемого в нашем климате крымского известняка: он годится лишь для оформления интерьеров, если архитекторов, конечно, не пугают его каверны, собирающие грязь.

Под Симферополем в месторождении Бьюк-Янкой добывают более плотный известняк, по своим свойствам — в том числе и по морозостойкости — близи-

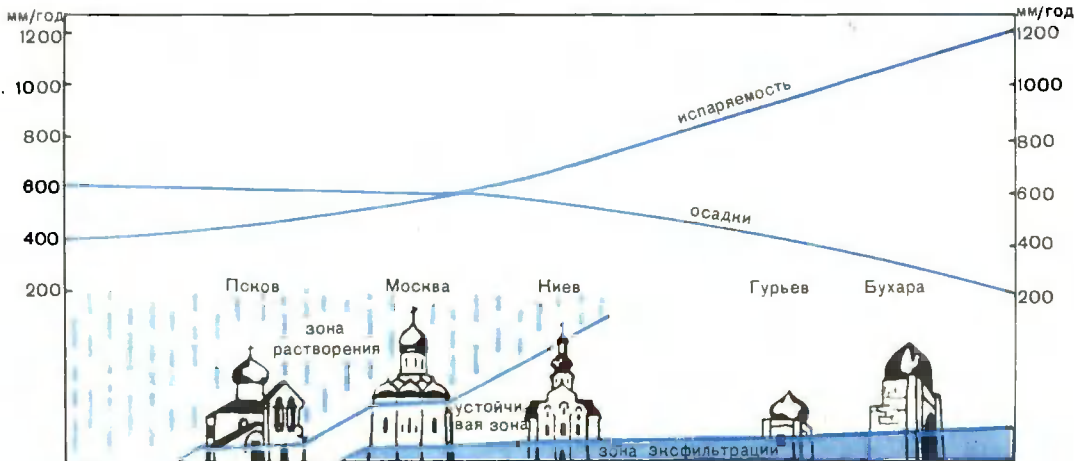


Схема расположения зон растворения, устойчивой зоны, зоны эксфильтрации в постройках в зависимости от географической широты, количества осадков и испарения. В северных районах, где выпадает большее количество осадков, а испарение невелико, вся постройка находится в зоне растворения; в средних широтах, где испарение сильнее, в зоне растворения находятся верхние части постройки, ниже камень располагается в устойчивой зоне, а фундамент и нижняя часть постройки — в зоне эксфильтрации; в южных районах существуют зоны эксфильтрации и устойчивая.

кий к мячковскому, хотя он и более холодного, скорее, голубоватого цвета. В предвоенные годы плиты этого известняка И. В. Трофимов после выдержки их на морозе применял при реставрации цоколя колокольни и белокаменных деталей церкви Зосимы и Савватия в Троице-Сергиевой лавре. Они успешно стоят вот уже более тридцати лет; их технические свойства близки к требуемым, однако документальность такой реставрации, введение в памятник иного — хотя бы и по геологическим особенностям — материала спорны.

водой. Но главное — эти известняки неморозостойки и легко «простужаются» — ломаются и расслаиваются в московском климате: я не сомневаюсь, что сделанная ими реставрация потребует замены лет через 20—30, а здания, например гостиница «Турист» на Ленинском проспекте, быстро приобретут неопрятный разрушающийся вид. Уже через 7 лет после укладки из этого камня цоколя, ступеней, портиков и стен отреставрированных участков зданий Кремля, Петров-

Немалое значение в современном строительстве и реставрации памятников имеют силикатные камни. К ним относятся различные граниты, базальты и диабазы, габбро, лабрадорит, вулканические туфы, кварциты и другие. Силикатные камни состоят из соединений кремния — кварца, полевых шпатов, роговых обманок, слюды, пироксенов. Как правило, их весьма высокие механические качества далеко превосходят требуемые в строительстве. В отличие от карбонатов силикаты практически нерастворимы и весьма устойчивы хими-



чески, поэтому силикаты лишь пассивно противостоят воздействию и не могут «залечиваться», «срастаться» с известью и даже цементом. Вот почему постройки из силикатов не превращаются, в отличие от белокаменных, в органически живой монолит, и их слабое место — швы между монолитами. В постройках Древней Руси валуны («булыга», «дикий камень») силикатных пород, принесенные некогда ледником, закладывали в смешанную кладку, как, например, в Софии Новгородской. Валуны закладывали и в фундамент здания. Оставаясь химически нейтральными в кладке, они легко выпадают из стен, когда оказываются у поверхности. Начиная с XVIII—XIX вв. силикатные камни широко применяются в строительстве, и в основном в облицовке стен.

### ОХРАНА ПАМЯТНИКОВ — ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКСНАЯ

Проблема охраны памятников архитектуры и их реставрации — очень широкая, по-настоящему комплексная проблема. Рассмотрим как пример Троице-Сергиеву лавру и памятники окрестностей города Загорска.

Сама Лавра — живописный ансамбль разновременных построек, включающий более 50 зданий и сооружений. «При туристском обходе Лавры беглому взору впервые разворачивается не подавляющее количество, но действительно изысканное богатство впечатлений от нее. Русская архитектура на протяжении всех веков делает сюда, в Лавру, лучшие свои вклады, так что Лавра — подлинный исторический Музей русской архитектуры»<sup>9</sup>.

Лавра, пожалуй, наиболее благополучный, отремонтированный и отреставрированный комплекс. Накоплен значительный опыт его восстановления, в советское время берущий начало с 1918 г., когда после национализации церковного имущества в Лавре была создана Комиссия по охране памятников искусства и старины, в которую входили: председатель О. П. Мансуров, Ю. А. Олсуфьев, А. Н. Свиригин, ученый секретарь П. А. Флоренский, хранитель М. В. Шик. Эта Комиссия и подготовила декрет «Об обращении в музей историко-художественных

ценностей Троице-Сергиевой лавры», который был подписан В. И. Лениным 20 апреля 1920 г., после внесения по его указанию дополнений<sup>9</sup>.

Реконструкция и реставрация, начатая сразу после создания Комиссии, продолжается поныне. Работы, проводившиеся под руководством И. В. Трофимова с 1938 по 1950 г., позволили укрепить фундаменты, реконструировать аварийные здания и реставрировать ряд построек, в том числе церковь Зосимы и Савватия (1637), которая освобождена от позднейшей застройки. Были сформулированы и частью решены назревшие вопросы сохранения всего ансамбля<sup>10</sup>. В последние же десятилетия усилия направлены на реконструкцию памятников, придания им «благородного», подновленного под старину облика, превращение города в туристский центр. На этом этапе особенно проявились частные недостатки реставрации, которые мы далее и рассмотрим в качестве примеров<sup>11</sup>.

Окрестности Загорска также насыщены памятниками старины. С юга, со стороны Москвы, к нему примыкают Абрамцево, с которым связаны имена многих деятелей культуры России конца XIX — начала XX в., и село Городок, находящееся на месте древнего Радонежа — городища, окруженного валом, родины Сергия Радонежского (ок. 1321—1391). Сейчас здесь организуется Радонежский историко-природный заказник, который должен будет образовать единое целое с охранными зонами Абрамцево и Хотьково. Эти меры должны способствовать охране исторических мест, ибо за последние годы часть вала превращена в кладбище, в другом месте из вала берут песок. К востоку от Загорска сохранились остатки комплекса монастырской и скитов: Гефсиманского, Вифанского, Параклитского и Черниговского. С ними связана система Вифанских прудов, которые теперь дополнены водохранилищем.

<sup>9</sup> Охрана памятников культуры. Сб. документов. М., 1973. История создания декрета изучена А. С. и М. С. Трубачевыми. Трубачева М. С. Из истории охраны памятников в первые годы советской власти. — В сб.: Музей. Вып. 5. М., 1983.

<sup>10</sup> Трофимов И. В. Памятники архитектуры Троице-Сергиевой лавры. М., 1961.

<sup>11</sup> Трофимов И. В. О принципах реставрации памятников Троице-Сергиевой лавры. — Сов. археология, 1970, № 4, с. 74; Балдин В. И. Загорск. История города и его планировка. Архитектурные памятники города. М., 1981.

<sup>9</sup> Флоренский П. А. Троице-Сергиева лавра и Россия. — В кн.: Троице-Сергиева лавра. Комиссия по охране памятников искусства и старины Троице-Сергиевой лавры. Сергиев Посад, 1919.

На северо-западе от Загорска на высоком холме находится древнее село Благовещенское, славившееся своей деревянной церковью XVII в. — древнейшей в Московской области, разобранной в 1977 г. К северу располагается село Деулино, давшее название Деулинскому перемирию с поляками 1618 г.

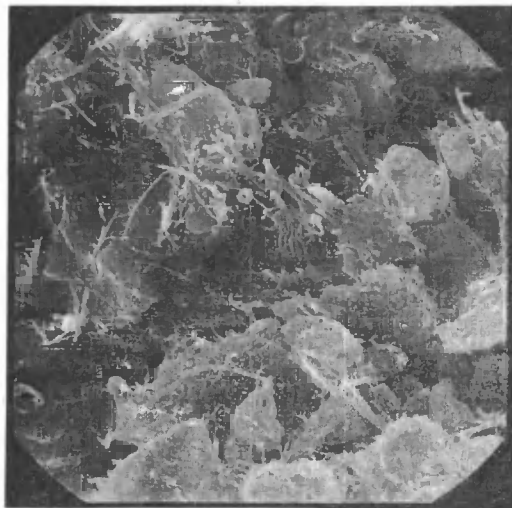
Местность вокруг Загорска холмистая, с характерным ледниковым рельефом. Верхние горизонты образованы ледниковыми — флювиогляциальными и моренными рыхлыми песками, глинами и валунами. Их подстилают пески и опоки мелового возраста, с которыми связаны знаменитые, считающиеся целебными родники, ниже залегают юрские глины. Такой разрез обуславливает два водоносных горизонта: приповерхностный, рассекаемый на блоки реками и оврагами, и более глубокий в меловых песках, единый почти на всей территории.

При взгляде на Загорск и его окрестности поражает, как его планировка напоминает планировку Москвы. В центре, на холме, находится Лавра, которую, как и Московский Кремль, с запада и юга обгибают реки и ручьи, текущие на юго-восток.

Холм, на котором стоит Троице-Сергиева лавра, сложен неравномерно распределяющимися ледниковыми рыхлыми глинами и слоями песка разной толщины. Анализ его строения проведен геологом С. Н. Чернышевым, чьими советами мы пользовались при написании настоящего раздела.

Фундаменты памятников находятся в приповерхностных горизонтах, но стабильность водного режима всей территории контролируют также водоносные слои, располагающиеся ниже. Нарушение режима и приповерхностных, и более глубоких горизонтов вызовет расползание холма. Уже несколько столетий холм сползает на юг. Свидетельство этому — трещина на западном портале Успенского собора, известная очень давно. Некоторое время назад сползала на юг и Трапезная церковь.

Поверхностные воды — верховодка — распределяются в соответствии с неоднородностью приповерхностных слоев крайне неравномерно. На севере Лавры в районе церкви Смоленской божьей матери, больших палат и колокольни Успенского собора); о дренировании этих вод необходимо позаботиться. Вполне возможно, что в связи с повышением уровня вод усилилось всасывание их стенами из пористого камня. К тому же закрытие стен холстом и масляными красками (в 30-е годы при реставрации белокаменные стены соборов были расчищены.— П. В. Ф.) должно было



Растровая микрофотография, сделанная В. А. Кузьминим. Известняк, выпавший из северной стены Троицкого собора [1422], сильно растворился и пророс водорослями [на фотографии — волокна], окрасившими стену в зеленый цвет. [Увел. в 3 тыс. раз.]

Троицким собором, водоупорный глинистый горизонт близок к поверхности, в результате стены их увлажнены: особенно северные — до верха, кроме того, их зеленым ковром покрывают водоросли. С подсосом грунтовых вод не только по поверхностным стенам, но и внутри Троицкого собора столкнулись в первые годы создания музeya.

Вот отрывок из письма в музейный отдел Главнауки, направленного секретарем Комиссии по охране памятников искусства и старины Троице-Сергиевой лавры П. А. Флоренским 25 апреля 1925 г.: «Большое потребление воды в Сергиевом Посаде за последние лет двадцать и, в частности, в Лавре (общественные бани и т. п.) при отсутствии канализации повысило уровень грунтовых вод. Уже неоднократно указывалось, что почва на территории Лавры именно в связи с повышением потеряла свою устойчивость и грозит в дальнейшем целостности построек (наклон Лаврской колокольни, трещина Успенского собора); о дренировании этих вод необходимо позаботиться. Вполне возможно, что в связи с повышением уровня вод усилилось всасывание их стенами из пористого камня. К тому же закрытие стен холстом и масляными красками (в 30-е годы при реставрации белокаменные стены соборов были расчищены.— П. В. Ф.) должно было

повести к усиленному выделению влаги из стен внутрь собора, так сказать — к перекачиванию вод из грунта в собор, тогда как ранее они выходили наружу через поры, ставшие теперь непроницаемыми».

Разрушение Троицкого собора и других построек из-за подсоса грунтовых вод снова усилилось из-за того, что по реконструкции 1966 г. весь двор замощен плитами известняка и доломита, тем самым прекращено испарение грунтовой воды через почву, и она направлена в стены собора. Нужно срочно размостить двор, оставив около зданий лишь один-полтора метра отмостков, наклоненных от стен. С севера собора необходимо провести водоток или дренаж, отводящий воду по склону на юг или под стены на запад. Кроме того, после устройства по проекту реконструкции 1966 г. под XIV в. закомарного перекрытия крыш, дождевые трубы, сделанные из бетона (под белый камень) разбрызгивают воду по стенам и в результате этого стены древнейших Троицкого собора (1422), церкви Сошествия святого духа (1476), а также Успенского собора (1559—1585) находятся в плачевном состоянии: они размываются, растворяются, рассыпаются. Надгробная плита, вмурованная в Троицкий собор, почти исчезла, а ведь ее надпись было нетрудно прочитать несколько лет назад. Следует сказать, что вероятное переобводнение окружающей территории Лавры мало учитывается при реконструкции ее окрестностей. К югу от Лавры приподнят уровень р. Кончуры. А вокруг Лавры планируется зачем-то восстановить ров, который был засыпан в XVIII в. Если заполнить ров водой, то вместе с Кончурой они резко усилят оползневые процессы не только в Лавре, но и городе вообще. К счастью, это предложение частично приостановлено Всероссийским обществом охраны памятников истории и культуры. Несомненно, геологические охранные зоны должны планироваться значительно шире, чем это делается, — по крайней мере до железной дороги на востоке: гидрогеологически это единый с Лаврой район. Таким образом, повышение уровня грунтовых вод при строительстве водохранилищ не может не сказаться на устойчивости не только памятников архитектуры, но и городов вообще.

Напротив, при строительстве зданий, особенно с заглубленным фундаментом, происходит понижение уровня грунтовых вод. В результате будут гнить сваи,

сохраняющиеся в воде, на которых стоят памятники (например, в Лавре на дубовых сваях стоит Трапезная церковь). Эта опасность возникает при планируемом строительстве туристского центра и особенно подземных гаражей в непосредственной близости от Лавры — на северо-западе от нее.

Применение естественного строительного камня в строительстве вообще и реставрации особенно требует целого комплекса исследований: инженерно-геологических, физико-геологических, микропетрографических, микропалеонтологических и т. д. Большинство этих исследований проведено в последние десятилетия. Важно научиться учитывать их. С точки зрения реставрации, необходимо решать в первую очередь следующие вопросы. Во-первых, это сравнительное изучение физико-механических свойств камня, с одной стороны, из кладки памятников архитектуры, а с другой — из месторождения, предлагаемого для реставрации. Во-вторых, изучение процессов выветривания и разрушения камня различных типов. В-третьих, определение геологического возраста, состава, структуры камня из построек, а по ним — места добычи для каждой постройки. Конечным документом такой работы будет карта распространения строительного камня из того или иного месторождения в памятниках архитектуры. И наконец, в-четвертых, поиски и изучение месторождений камня, которые разрабатывали в прошлом. Только камень именно из тех же месторождений (или хотя бы из геологически аналогичных) должен применяться для реставрации памятников. Недопустимо, как мы уже говорили, применение в реставрации архитектурных памятников Центральной России неморозостойкого крымского известняка, абсолютно недопустимо применение цемента.

Однако проблемой камня не ограничиваются задачи геолога. Они должны охватывать более широкий круг вопросов — и в первую очередь охрану ландшафта, природы, всей окружающей среды. Только при таком комплексном подходе возможно оптимальное решение вопросов создания и размещения охраняемых зон, историко-природных заповедников, национальных парков. А сохранение для будущего памятников нашей культуры, истории, нашего прошлого, которые в этом случае станут в такой же степени и частью нашего будущего, — лишь часть этой проблемы.

## Радиогеохимический поиск руды

А. М. Портнов



Александр Михайлович Портнов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Центральной комплексной геолого-геофизической экспедиции Центрального научно-исследовательского геолого-разведочного института Министерства геологии СССР. Занимается аэрогеофизическими методами поисков рудных месторождений, а также отдельными вопросами геологии, геохимии и минералогии. Неоднократно выступал в «Природе».

Когда в начале XX в. В. И. Вернадский мечтал о создании карты радиоактивности всей земной поверхности, эта мысль представлялась совершенно фантастической. Физики только недавно познакомились с явлением радиоактивности, и измерение излучения являлось сложной технической проблемой. Примитивные листочковые электроскопы в течение длительного времени оставались практически единственными приборами, служащими для этой цели. Они были неудобными, неточными и непроизводительными.

Тем не менее с помощью именно этих приборов проводилась срочная ревизия геологических коллекций и кернов скважин в относительно недавнее время, когда взрывы атомных бомб в Японии породили невиданный в истории поисково-разведочных работ «урановый бум». Геологические службы всех стран мира занялись поисками урана, совсем недавно никому не нужного, а теперь и на десятилетия вперед — «элемента № 1».

Интенсивные поиски урана потребовали срочной разработки индикаторов излучения, причем геологов заинтересовало не  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучение, а проникающее в атмосферу на десятки метров  $\gamma$ -излучение. Оно измеряется на расстоянии, и источник излучения обнаруживается даже в тех

случаях, когда он скрыт почвой, мхом, зарослями травы. Были разработаны газо-наполненные счетчики Гейгера, способные быстро измерять общий поток  $\gamma$ -квантов. Уже в конце 40-х годов «пакеты» гейгеровских счетчиков стали устанавливать на легкие самолеты, с которых на бреющем полете обследовались рудоперспективные районы. Эта система поиска урана с помощью радиометров помогла обнаружить крупные месторождения в Канаде и других странах.

### РАДИОЭЛЕМЕНТЫ И РУДА

В дальнейшем на смену счетчикам Гейгера пришли кристаллические датчики, дифференцирующие энергию  $\gamma$ -излучения. Их использование стало важным этапом в измерении радиоактивности, поскольку появилась возможность расшифровать спектры  $\gamma$ -излучения и выделить его радиевую, ториевую и калиевую составляющие. Установка на борту самолета или вертолета высокочувствительных монокристаллических датчиков, фиксирующих буквально каждый проходящий через них  $\gamma$ -квант, привела к развитию аэрогамма-спектрометрии.

Этот метод позволил сразу же, еще в воздухе, оценить радиоактивную анома-

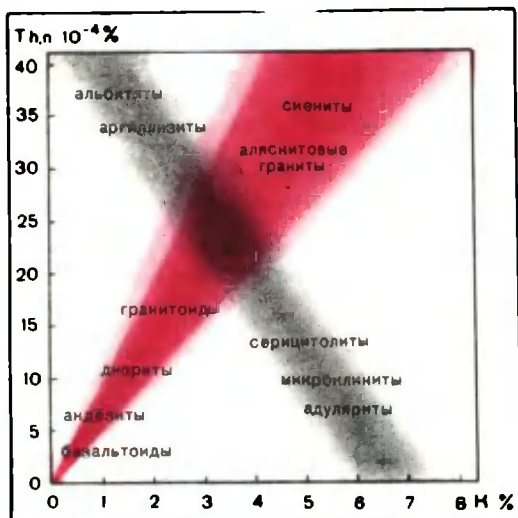


Схема распределения калия и тория в магматических и измененных породах. Для калия и тория в изверженных породах характерна высокая положительная корреляция; в измененных породах вблизи рудных тел положительная корреляция сменяется отрицательной. Калиевая и ториевая радиогеохимические специализации (РГС) отражают меру распада положительной связи между этими элементами. Вычисление функции РГС на ЭВМ позволяет вести аэрогеохимический поиск руд.

лию по преобладанию в ней определенного радиоактивного элемента. Монокристаллические детекторы разделяли  $\gamma$ -кванты разных радиоэлементов по их энергиям: самое жесткое излучение — у тория (характерный максимум — 2,62 МэВ), более мягкое — у радия (максимум — 1,76 МэВ), калий же распознавался по пику 1,46 МэВ. Поисковиков интересовало выделение из общего потока  $\gamma$ -квантов именно тех, которые связаны с наличием радия. На урановые (радиевые) аномалии выходили поисковые наземные отряды, а  $\gamma$ -излучение тория и калия представлялось помехой, поскольку формировало «ложные аномалии».

Постепенное накопление данных по геохимии радиоактивных элементов заставило изменить эту точку зрения. В 1954 г. появилась статья американского геолога У. Гросса, в которой доказывалось, что общая повышенная радиоактивность характерна и для месторождений некоторых нерадиоактивных руд. При этом Гросс рассматривал лишь уран и торий, отмечая, что эти элементы накапливаются совместно с рудами редких металлов. По инициативе известного советского геохимика А. И. Гинзбурга в начале 60-х годов в нашей стране был налажен аэропоиск

редких металлов; в результате выяснилось, что торий действительно является радиоактивной меткой некоторых рудопроявлений ниобия, бериллия, редкоземельных элементов, олова.

Между тем оставался самый распространенный радиоэлемент — калий. В отличие от урана (среднее содержание в земной коре — 0,0002 %) и тория (0,0012 %) его концентрация в земной коре равна 2,5 %. Радиоактивность калия связана с изотопом  $^{40}\text{K}$ , составляющим 0,12 % общей суммы его изотопов. Геохимическая роль калия в глубинных процессах очень велика. Совместно с натрием этот металл определяет щелочность магмы, рудообразующих растворов и, соответственно, подвижность рудных компонентов, условия их концентрации.

Наши работы, проведенные совместно с аэрогеофизиком Э. Я. Островским, показали, что наиболее интересные результаты получаются, если сопоставить поведение двух самых распространенных радиоэлементов — калия и тория<sup>1</sup>. Аэросъемка позволила увидеть, как соотносится распределение этих металлов на огромных территориях, в различной геологической обстановке. На картах и графиках стали выделяться внешне сходные и однотипные породы, единые на геологической карте, но различающиеся по содержанию калия и тория. Стало заметно и перераспределение калия и тория в областях рудоотложения.

Преимущество аэрогеохимического анализа заключается в том, что любая лаборатория имеет дело с относительно небольшой пробой, на борт же вертолета, ведущего аэрогаммаспектрометрическую съемку, поступает усредненная информация о содержании радиоэлементов в «пробе», весящей  $10^4$  —  $10^5$  т. При скорости вертолета около 40 м/с и высоте полета 80—100 м ежесекундно анализируется излучение с поверхности 20 000—30 000 м<sup>2</sup>.

Аэрогаммаспектрометрическая съемка позволяет вести прямой анализ в самых недоступных местах — в горах, ущельях, пустынях, труднопроходимой тайге. Пробы не надо доставлять в лабораторию: анализ проводится «на месте», данные кодируются, и все результаты сразу же, хоть с борта самолета или вертолета, можно передать в вычислительный центр. И если в программу заложить координаты местно-

<sup>1</sup> Островский Э. Я., Портнов А. М., Драбкин И. Е. — Геология рудных месторождений, 1970, т. 12, № 3, с. 87.

сти и маршрут полета, то, вернувшись на базу, можно получить три карты, на которых в изолиниях показано распределение калия, тория и урана (урана) в обследуемом районе.

На основе этих моноэлементных карт составляется еще одна — интерпретационная, где выделяются участки, представляющие интерес для наземных поисковых групп. Эта карта, составляемая путем расчета уровня радиогеохимической специализации горных пород указывает возможные места концентрации рудных компонентов.

### ЧТО ЖЕ ТАКОЕ РАДИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ?

Чтобы ответить на вопрос, каково индикаторное значение радиоэлементов и как оно может проявляться, вернемся к началу статьи, к мечтам Вернадского о карте радиоактивности нашей планеты. Сейчас благодаря аэрогаммаспектрометрии появилась реальная возможность составить такую карту распределения радиоэлементов — ведь континенты Земли покрыты сплошным полем  $\gamma$ -излучения, простирающимся до высоты 200—300 м над их поверхностью.

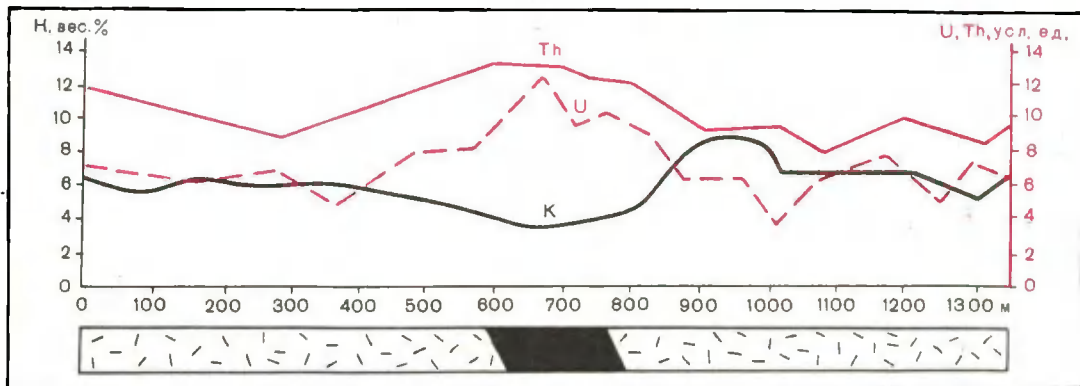
Если бы  $\gamma$ -излучение Земли можно было «увидеть» из космоса, наблюдателю представилась бы необычная картина: на фоне черных, практически неизлучающих океанов континенты светились бы разнообразными цветами с различной интенсивностью. Световая мозаика отражала бы геологическое строение континентов. На тусклом фоне стабильных платформенных участков земной коры различными яркими цветами проступали бы горные массивы — подвижные области, где эрозия вскрывает изверженные породы, представляющие собой продукт тектоно-магматической активации глубинных геосфер.

Основная масса  $\gamma$ -излучателей — калия, тория и урана — концентрируется в «гранитном» слое, скрытом под осадочно-метаморфическими породами. Подстилающий его «базальтовый» слой содержит значительно меньше радиоэлементов, а в породах мантии их почти нет. Анализы показали, что при последовательном переходе от изверженных пород мантии к базальтоидам, а затем к гранитоидам сохраняется очень важная закономерность: все три радиоэлемента накапливаются синхронно и наиболее высокая положительная корреляция характерна для пары калий — торий.

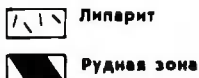
Тектоно-магматическая активизация захватывает верхнюю мантию, «базальтовый» и «гранитный» слои. Потоки тепла, поднимающиеся из глубин планеты, ведут к появлению различных по химическому составу расплавов, отличающихся набором как радиоэлементов, так и металлов. Самые подвижные компоненты расплавов — газы, вода и щелочи. Именно они заставляют перемещаться относительно малоподвижные рудные элементы.

Из мантии к поверхности Земли поднимаются наиболее глубокие породы — алмазные кимберлиты, редкометалльные карбонатиты, богатые фосфором и редкими элементами сиениты. «Парадоксом мантии» можно назвать удивительное явление, заключающееся в том, что из мантийных пород с очень низким содержанием радиоэлементов рождаются высоко-радиоактивные породы, в которых заметно преобладает торий. В то же время содержание калия в кимберлитах и карбонатитах гораздо ниже, чем в среднем в земной коре. Высокое содержание тория, характерное для сиенитов и карбонатитов, делает их очень заметными благодаря преобладающему жесткому  $\gamma$ -излучению. Про эти породы можно сказать, что они обладают ториевой радиогеохимической специализацией. Сиениты и карбонатиты сопровождаются такими литофильными рудными элементами, как ниобий, цирконий, титан, бериллий, редкие земли.

Тектоно-магматическая активизация базальтового слоя проявляется иначе. В отличие от низкорadioактивных базальтов океанов возникают континентальные базальты, в которых содержание щелочей значительно выше, чем в базальтах океанического типа. Дифференциация магмы приводит к появлению на континентах высокощелочных выплавов андезитового, дацитового, липаритового составов, для которых характерна иная закономерность: калий здесь накапливается быстрее, чем торий. Рудным «придатком» калиевой радиогеохимической специализации являются уже не редкие литофильные элементы, характерные для мантийных сиенитов и карбонатитов, а золото, серебро, молибден, медь и другие рудные элементы. Процессы рудоотложения, связанные с воздействием водных растворов, усиливают имеющуюся в изверженных породах радиогеохимическую специализацию. Вулканические пояса, где формируются выплавки с относительно преобладающим калием над торием, гигантским кольцом окружают Тихий океан. Они же ха-



Радиогеохимический профиль через оловорудное месторождение: в рудной зоне накапливаются торий и уран, а калий выносится.



рактены для районов древнего вулканизма.

Тектоно-магматическая активизация «гранитного» слоя, максимально обогащенного радиоактивными и редкими металлами, создает благоприятные условия для концентрации «классических» радиоэлементов — урана и тория, нередко в ассоциации с оловом, вольфрамом, редкоземельными элементами. Месторождения халькофильных металлов — молибдена, свинца, цинка — если они связаны с гранитоидами, нередко проявляются в виде областей калиевой специализации, возникающих за счет образования калиевых минералов вокруг рудных жил.

Результаты обследования больших территорий показывают, что калиевая радиогеохимическая специализация приурочена к тем участкам земной коры, которые отличаются относительно мало-мощным гранитным слоем, интенсивным андезит-базальтовым магматизмом, наличием глубинных разломов и рифтов. В этих участках встречаются месторождения халькофильных элементов — золота, серебра, свинца, цинка, меди, молибдена<sup>2</sup>.

В областях с мощным активизированным «гранитным» слоем общая радиоактивность возрастает. В них же проявляется ториевая специализация магматических пород, обогащенных оловом, вольфрамом,

литием, бериллием и другими литофильными элементами. По окраинам платформ, среди низкорadioактивных древних морских осадков, ториевым излучением выделяются производные мантии — карбонаты и щелочные сиениты, содержащие фосфор, редкоземельные элементы, ниобий, цирконий. Ториевая специализация характерна и для кимберлитовых трубок.

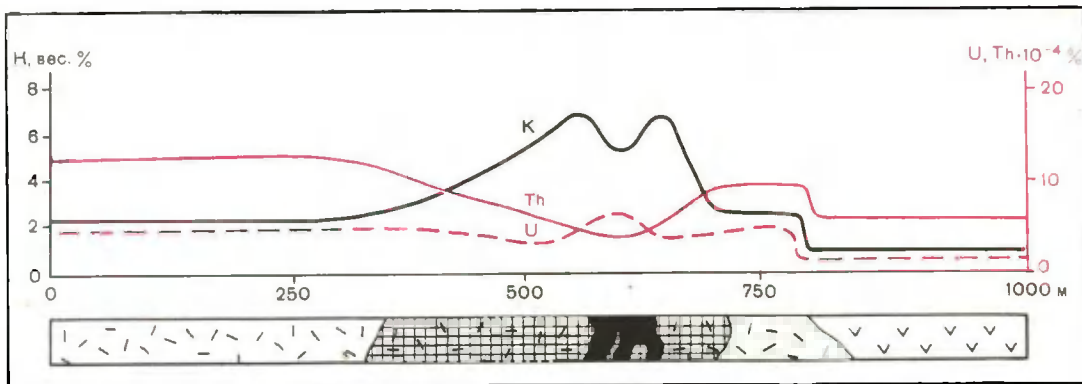
В целом радиогеохимическая специализация изверженных пород свидетельствует о высоком уровне дифференциации магматических расплавов, а в ряде случаев и о еще более высокой степени концентрации отдельных элементов — процессе рудоотложения.

#### АНТАГОНИЗМ КАЛИЯ И ТОРИЯ — ИНДИКАТОР РУДНЫХ ЗОН





Большинство рудных месторождений возникает не в процессе дифференциации силикатного расплава, а на более поздней стадии — при остывании магмы, сопровождающемся образованием гидротермальных растворов, нагретых до 200—400 °С и содержащих в растворенном виде рудные элементы. Наши исследования показали, что возникающие из гидротермальных растворов рудные зоны наследуют и усиливают радиогеохимическую специализацию «материнских» силикатных расплавов. При этом более резко проявляется тенденция к разделению радиоэлементов и возникновению моноэлементного  $\gamma$ -излучения. Эта особенность позволяет выделять локальные рудные зоны на фоне региональной радиогеохимической специализации магматических пород.

Аэрогеохимические исследования выявили важную роль калия как индикатора процесса рудоотложения. Калиевое излучение в определенных блоках земной коры является ориентиром при поисках

<sup>2</sup> Островский Э. Я., Портнов А. М. — Геохимия, 1979, № 5, с. 767.



Радиогеохимический профиль через рудную зону золото-серебряного месторождения. В рудной зоне накапливаются калий и уран, а торий выносятся.

-  Липарит
-  Адуляризованный липарит
-  Андезит
-  Рудная зона

сульфидных руд, среди которых наиболее интересны золото-серебряные и молибденовые. Изучение индикаторных свойств геохимической связи калия и тория — наиболее распространенной пары радиоэлементов — позволило автору совместно с Э. Я. Островским предложить принципиально новую поисковую систему, основанную на особенностях взаимного поведения калия и тория в магматических породах и гидротермальных рудных зонах<sup>3</sup>.

Поскольку формирование рудных залежей неизменно сопровождается воздействием на окружающие породы водных растворов, то возникают зоны околорудного изменения пород, где среди новообразованных минералов преобладают микроклин, ортоклаз, слюды и гидрослюды, т. е. минералы калия. Подобные околорудные зоны особенно характерны для месторождения халькофильных элементов — золота, серебра и молибдена.

И наоборот, бескалиевые околорудные минералы — альбит, хлорит, флюорит, карбонаты, кварц и другие — характерны для месторождений литофильных металлов — бериллия, ниобия, олова,

редкоземельных элементов. В этих бескалиевых рудных зонах главным  $\gamma$ -излучателем является торий.

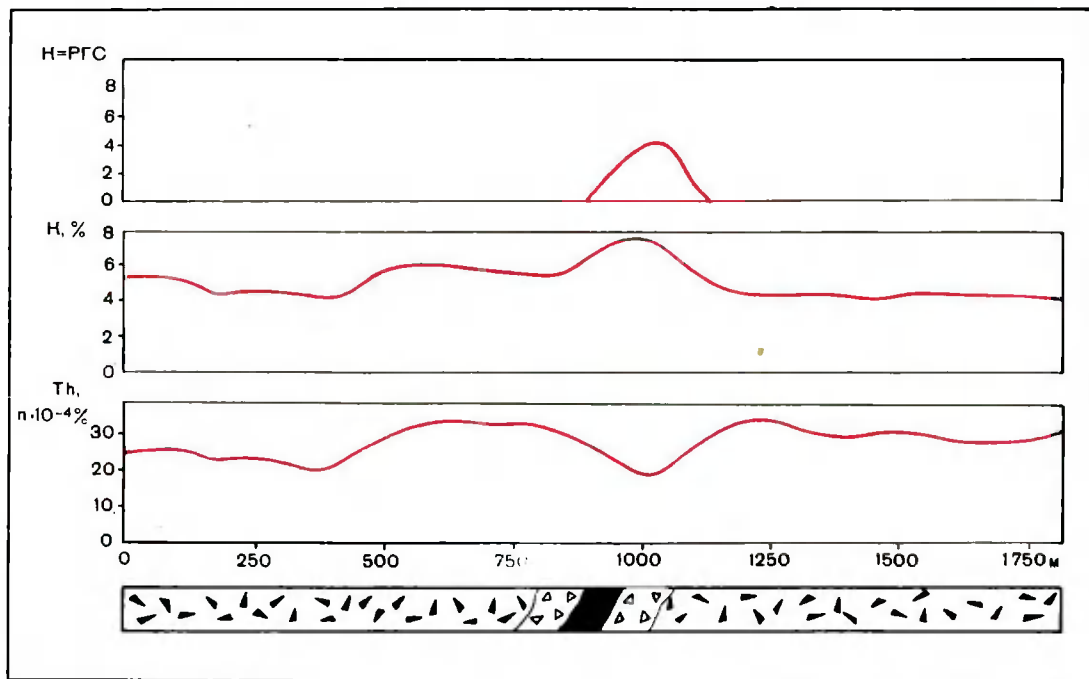
Аэрогеохимическая съемка, проведенная в различных районах СССР параллельно с наземными исследованиями, показала, что для неизменных изверженных пород характерна высокая положительная корреляция между калием и торием. В то же время для измененных пород и рудных тел гидротермальных месторождений установлено резкое уменьшение положительной корреляции между калием и торием. Возможна даже отрицательная корреляция, когда увеличение содержания одного из элементов сопровождается уменьшением содержания другого. Иными словами, радиогеохимия позволяет отличать измененные породы вблизи рудных тел от окружающих безрудных пород, поскольку положительная корреляция между распределением тория и калия в магматических породах сменяется отсутствием такой корреляции в гидротермально-метасоматическом процессе.

Действительно, в крупных трещинах, какими являются зоны рудоотложения, происходит разделение зон концентраций калия и тория. Хотя торий избегает участков, где отлагаются минералы калия, он охотно осаждается совместно с натриевыми минералами — альбитом, натриевыми роговыми обманками и пироксенами.




Здесь скрыта сущность механизма разделения тория и калия в гидротермальном процессе: калиевые минералы более устойчивы в щелочной среде, чем натриевые. Действительно, в современных гидротермальных системах Камчатки, Японии, Новой Зеландии замечено, что калий отлагается в зонах вскипания и дегазации рудоносных хлоридно-углекислых растворов, нагретых до температуры свыше 250 °С, когда понижение давления,

<sup>3</sup> Портнов А. М., Островский Э. Я. — Доклады АН СССР, 1972, т. 204, № 6, с. 1463.





Радиогеохимический профиль через рудную зону серебряно-полиметаллического месторождения. Средний и нижний графики иллюстрируют распределение калия и тория. Верхний график рассчитан на ЭВМ и отражает калиевую специализацию  $[K=PGC]$  пород рудной зоны, т. е. меру уменьшения положительной корреляционной связи между калием и торием.

-  Массивный трахиллит
-  Брекчиевый трахиллит
-  Рудное тело

сопровожаемое потерей  $CO_2$ , ведет к замене кислой среды растворов резко щелочной. Химическая активность калия при этом увеличивается, начинает отлагаться калиевый полевой шпат — адуляр, а также рудные минералы. Наряду с этим торий в щелочной калиевой среде переходит в устойчивые растворимые комплексные соединения и «вымывается» из магматических пород.

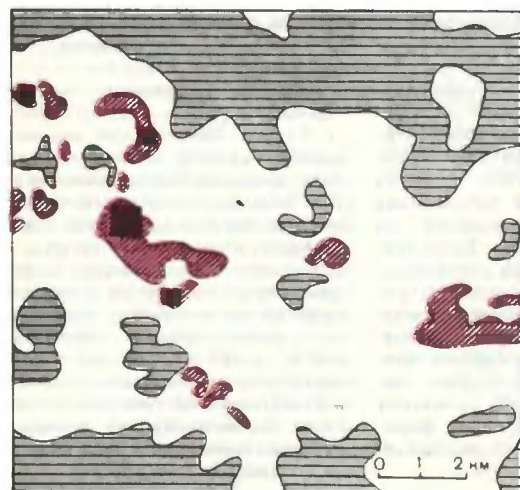
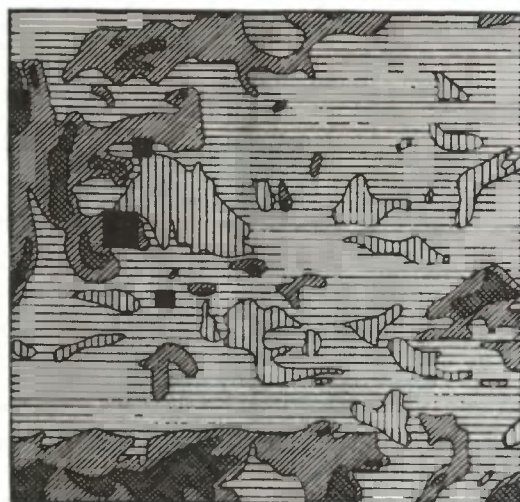
Околорудные же бескалиевые минералы, напротив, отлагаются в слабокислой среде, где комплексные ториевые соединения разлагаются и торий либо образует собственные минералы, либо входит в виде примеси в состав редкоземельных и редкометаллических минералов.

## АЭРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ

В настоящее время аэрогеохимический метод поисков базируется на данных экспрессной азотгаммаспектрометрической съемки. Результаты измерений обрабатываются на ЭВМ по алгоритмам, учитывающим как фоновую («нормальную») положительную корреляцию между калием и торием, так и участки с нарушенной положительной корреляцией. Из карт распределения отдельных радиоэлементов ЭВМ формирует прогнозную карту, на которой выделяются зоны с проявлениями антагонизма между калием и торием, т. е. с преобладающим накоплением того или другого  $\gamma$ -излучателя.

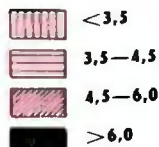
Обработка материала идет таким путем, что сначала определяется характер радиогеохимической специализации для крупных блоков земной коры, а в их пределах вычлняются локальные зоны, где удается установить дальнейшее усиление региональной специализации. Они-то и представляют наибольший интерес для поисковиков.

Опыт работ показывает, что золото-серебряные месторождения расположены в регионах с магматическими породами, относительно обогащенными калием, но с невысоким содержанием тория. Конкретные рудные зоны выделяются за

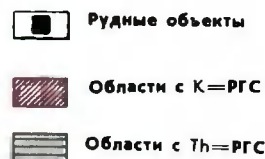
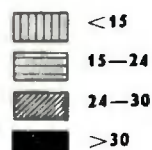


Карты  $\gamma$ -излучения калия (вверху), тория (в центре) и интерпретационная карта (внизу) для одной и той же местности. На интерпретационной карте, построенной на ЭВМ, выделяются области с калиевой и ториевой радиогеохимической специализацией (РГС). С областями калиевой РГС связаны рудные месторождения.

Содержание калия, %



Содержание тория,  $10^{-4}$  %:



счет локального накопления калия на фоне выноса тория или при его нейтральном поведении, т. е. сохранении концентрации тория на уровне его концентрации в окружающих породах. Редкометальные месторождения, напротив, характерны для массивов с повышенной концентрацией тория, а собственно рудные участки фиксируются с воздуха отдельными ториевыми максимумами. При аэрогеохимическом картировании среди низко-радиоактивных осадочных пород ториевой специализацией выделяются кимберлиты, карбонатиты, сиениты, граниты.

Таким образом, использование радиогеохимической специализации калия в качестве индикатора рудных зон с халькофильным оруденением, а тория как показателя участков с литофильной минерализацией позволило выявить ряд новых рудных объектов на территории нашей страны и расширить перспективы известных. Комплекс исследований по разработке и внедрению поисков месторождений нерадиоактивного сырья методом аэрогаммаспектрометрии был отмечен Государственной премией 1979 г.

## Астрофизика

**Четвертая гравитационная линза**

Группа американских астрофизиков во главе с С. Лоуренсом (C. R. Lawrence) обнаружила четвертую гравитационную линзу во Вселенной. Она связана с радиоисточником 2016+112. Напомним, что эффект гравитационной линзы (т. е. формирование нескольких изображений излучающего объекта за счет отклонения лучей в гравитационном поле), предсказанный А. Эддингтоном более 60 лет назад, впервые экспериментально зарегистрирован в 1979 г., когда была обнаружена двойственность квазара 0957+561. Позже стали известны еще две гравитационные линзы<sup>1</sup>.

Как показали наблюдения на «Очень большой решетке радиоастрономических антенн» (VLA) и 5-метровом оптическом телескопе обсерватории Маунт-Паломар, объект, соответствующий радиоисточнику 2016+112, представляет собой тройной источник (его компоненты обозначены как А, В, С). Звездopodobные компоненты А и В (их видимые звездные величины примерно равны 22<sup>m</sup>, 5, плотность потока излучения от них на волне 6 см составляет 21,9 и 23,2 мЯн соответственно) разнесены на

несколько угловых секунд и имеют удивительно большие и почти одинаковые значения красного смещения  $Z=3,273$ , а также чрезвычайно узкие эмиссионные линии в спектре.

Наибольший интерес представляет компонент С, который по многим признакам соответствует гигантской эллиптической галактике (видимая звездная величина 23<sup>m</sup>, плотность потока на волне 6 см — 67,9 мЯн, красное смещение  $Z=0,8$ ). Эта галактика, находящаяся, судя по величине красного смещения, значительно ближе, чем компоненты А и В, по-видимому, вносит свой вклад в явление гравитационной линзы. Но, поскольку С лежит в стороне от прямой, соединяющей А и В, должна существовать невидимая масса, вносящая определенный вклад в формирование изображений А и В. Специально проведенные наблюдения на 5-метровом телескопе с применением особо чувствительных детекторов позволяют предположить, что основной вклад в эффект гравитационного искривления лучей вносит скопление галактик, находящееся в направлении на радиоисточник 2016+112.

Природа компонента С окончательно не ясна. Не исключено, что в формирование изображения С вносит вклад третье изображение — от удаленного объекта с существенно большим красным смещением. Если изображение этого удаленного объекта достаточно интенсивно, его удастся выделить, проводя наблюдения на радиointерферометре со сверхдлинной базой. Безусловно также, ценную информацию о природе источника 2016+112 и всей системы гравитационной линзы принесет запланированный на ближайшее время поиск абсорбционных линий в оптических спектрах компонентов А, В, С и фарадеевского вращения поляризации их радиоизлучения.

Авторы предлагают методику, которая может быть использована для поиска большого числа гравитационных линз с целью изучения статистики распределения массы во Вселенной. В случае успеха такая наблюдательная программа станет важным космологическим тестом.

Preprint of Massachusetts Institute of Technology, № 12, 1983.

## Астрономия

**Необычный хвост кометы**

Считалось, что хвостом обладает лишь часть комет, а короткопериодические кометы обычно лишаются подобного «шлейфа», так как часто проходя в окрестностях Солнца, теряют составляющие хвост частицы. Среди «бесхвостых» числилась и комета Темпл-2, орбитальный период которой составляет всего 5,28 года.

13 июля 1983 г., через полтора месяца после того, как Темпл-2 прошла перигелий, приборы спутника «ИРАС» обнаружили за ней цепь неизвестных объектов, растянувшихся по небу на 10°.

Анализ данных, выполненных группой Дж. Дейвиса (J. Davies; Лейстерский университет, Англия), показал, что цепь представляет собой вытянутое в длину скопление пылевых частиц; они сдуваются с ядра кометы солнечным ветром и столь сильно нагреваются Солнцем, что их излучение в инфракрасной части спектра уже могут регистрировать приборы «ИРАС». Хотя Темпл-2 очень часто посещала внутреннюю область Солнечной системы и поэтому хорошо изучена, земные наблюдатели до сих пор не обнаруживали у нее хвоста.

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Блюх П. В., Минаков А. А. Гравитационные линзы. — Природа, 1982, № 11, с. 59; Муханов В. Ф. Гравитационная линза во Вселенной — Природа, 1980, № 10, с. 107; Сурдин В. Г. Тройной квазар — эффект гравитационной линзы — Природа, 1981, № 10, с. 101; Продолжается поиск гравитационной линзы. — Природа, 1982, № 10, с. 105.

Хвост Темпл-2 равномерно вытянут в длину на 30 млн км, но его поперечник по астрономическим масштабам очень мал — всего 300 тыс. км. Обнаружение хвоста у короткопериодической кометы Темпл-2 позволяет предположить, что и у других подобных комет при наблюдении со спутников в инфракрасной части спектра удастся обнаружить хвосты.

Перед астрономами теперь стоит задача попытаться сфотографировать хвост Темпл-2 в обычной, видимой части спектра. Сделать это весьма трудно, так как даже в максимуме своей яркости эта комета обладает звездной величиной 16<sup>m</sup>9 — в 20 раз меньше, чем у самой тусклой из звезд, которую еще можно наблюдать невооруженным глазом.

Science News, 1983, v. 124, № 7, p. 102 (США).

Планетология

## Азотный океан на Тритоне

Астрофизики Д. Крушкен (D. Cruikshank; Университет штата Гавайи, США) и Т. Оуэн (T. Owen; Университет штата Нью-Йорк, США), изучая спектрограммы Тритона — спутника Нептуна, полученные с помощью инфракрасного телескопа обсерватории Мауна-Кеа на Гавайских о-вах, обнаружили полосу поглощения на длине волны 2,15 мкм, характерную для азота.

Хотя по полосе поглощения невозможно судить, в каком агрегатном состоянии находится этот элемент, все же при температуре поверхности Тритона, близкой, очевидно, к 55 К, азот должен быть сконденсирован в жидкость. Высказывается предположение, что поверхность Тритона покрыта азотным «морем» глубиной по меньшей мере в несколько сантиметров. Возможно, азот смешан с каким-либо другим веществом; тогда при их большей общей глубине

спектр поглощения был бы тот же.

Полностью ли покрыта поверхность Тритона азотным океаном, или в океане имеются «континенты», пока окончательно не установлено. Однако спектрограммы различных участков поверхности, получаемые при вращении Тритона, скорее указывают, что среди азотных «морей» встречаются и участки суши.

Суша может быть образована и метаном, находящимся в твердом состоянии, причем твердый метан может быть представлен как постоянно существующими стабильными островами и материками, так и «айсбергами», плавающими по поверхности азотного моря.

В атмосфере Тритона доминирующим элементом, очевидно, является азот. Подсчеты Крушкена показывают, что давление у поверхности планеты должно быть близко к 100 мбарам (0,1 поверхностного атмосферного давления на Земле или 1/8 парциального давления азота на нашей планете).

Science News, 1983, v. 124, № 3, p. 36—37 (США).

Физика

## Исследование Земли с помощью пучка нейтрино

В 1957 г. Г. А. Аскарьяном, а затем Б. А. Долгошевым и др. было установлено, что пучки заряженных частиц, рожденные частицами высоких энергий, сопровождаются акустической волной<sup>1</sup>. Недавно груп-

па европейских и американских ученых — А. Рухула, Ш. Глэшоу, Р. Вильсон и Г. Шарпак (A. Rujula, S. Glashow, R. Wilson, G. Charpak) предложила исследовать Землю с помощью пучка нейтрино от ускорителя на сверхбольшие энергии, около 10—30 ТэВ (1 ТэВ=10<sup>6</sup> МэВ).

Такой ускоритель, энергия частиц в котором будет в 10—30 раз превосходить уже имеющиеся, предполагается создать в ближайшее время. Протоны, попадая на мишень, дадут пучок л- и К-мезонов, которые, распадаясь на лету, создадут узконаправленный пучок нейтрино диаметром около 10 м на расстоянии 10<sup>3</sup> км. Энергия таких нейтрино составит примерно 1 ТэВ. Столь большие энергии ускорителя требуются, чтобы создать пучок высокой направленности и увеличить взаимодействие нейтрино с веществом. Дело в том, что сечение взаимодействия пропорционально энергии нейтрино и чем больше эта энергия, тем больше энергия, выделяемая на единицу длины пучка, и тем больше амплитуда акустической волны от него.

По величине и форме звукового импульса и по скорости звука в месте прохождения пучка (которую определяют по запаздыванию звука при смещении пучка нейтрино) можно судить о типе и свойствах земных пород.

Звуковой импульс будет приниматься системой датчиков на поверхности Земли. Систему можно будет нацеливать в нужную область и отбирать повторяющиеся сигналы. Это облегчит выделение сигнала даже на фоне больших шумов. Сканируя нейтринным лучом, можно обнаруживать скопления нефти, газа, руд и т. п.

Метод исследования внутренних областей с помощью звука, рожденного внутри Земли, гораздо более эффективен, чем сейсморазведка, использующая взрывы у поверхности, при которой возникают большие отражения в областях, примыкающих к источнику звука, а это осложняет идентификацию звуковых данных.

По ослаблению пучка нейтрино, проходящего через земной шар, можно судить о рас-

<sup>1</sup> Аскарьян Г. А. — Атомная энергия, 1957, т. 3, № 8, с. 152; Аскарьян Г. А., Долгошеин Б. А. — Письма в ЖЭТФ, 1977, т. 25, № 5, с. 232; Askarjan G. A., Dolgoshein B. A., Kalinovsky A. N., Mokhov A. V. — Nucl. Instr. and Meth., 1979, v. 164, № 2, p. 267.

пределении плотности внутри Земли, т. е. осуществлять нейтринное сканирование (томографию) Земли.

В этих же целях можно использовать и  $\mu$ -мезоны, которые рождаются при взаимодействии нейтрино с веществом. Регистрируя мезоны у поверхности Земли, также можно сделать выводы о свойствах пород на пути мюонного пучка, так как в зависимости от плотности и атомного номера химических элементов, входящих в состав пород, изменяется вероятность рождения  $\mu$ -мезонов, ослабляется их поток и меняются углы рассеяния.

Preprint CERN — Harvard, 1983.

Физика

## Долго ли живет $b$ -кварк!

Кажется, что на этот вопрос ответить нельзя, поскольку в свободном состоянии кварки существовать не могут. Однако  $b$ -кварк, носитель квантового числа «прелесть», входит в состав недавно открытых «прелестных»  $B$ -мезонов<sup>1</sup>. Поэтому распады  $b$ -кварка приводят к распадам  $B$ -мезонов на другие частицы, а время жизни  $B$ -мезонов в основном определяется свойствами  $b$ -кварка и практически совпадает с его временем жизни. Таким образом, на вопрос, стоящий в заголовке, все-таки можно ответить.

Первое измерение времени жизни  $B$ -мезонов проведено двумя группами экспериментаторов, работающих с детекторами MARK-II и MAC на встречных электрон-позитронных пучках PEP в Станфорде (США). Их результаты:  $\tau_b = (1,20^{+0,45}_{-0,36} \pm 0,30) \cdot 10^{-12}$  с и  $\tau_b = (1,8 \pm 0,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-12}$  с, соответственно. До сих пор была известна лишь верхняя оценка времени жизни  $B$ -мезонов.

<sup>1</sup> Наблюдение распадов «прелестных» мезонов. — Природа, 1983, № 10, с. 105.

Эксперименты проводились при энергии столкновения пучков 29 ГэВ. При соударениях электронов и позитронов рождаются различные кварки, дающие начало множеству адронов. Адроны группируются в струи, летящие в противоположных направлениях от точки столкновения. Если в струе присутствует  $B$ -мезон, то через некоторое время он распадается (в соответствии с одним из возможных распадов входящего в его состав  $b$ -кварка). Например, распад кварка  $b \rightarrow s + e^- + \bar{\nu}_e$  приводит к распаду  $B$ -мезона на очарованную частицу, электрон и антинейтрино. Вылетающий электрон имеет большую энергию, так как  $b$ -кварк намного тяжелее очарованного кварка  $s$ . Если электрон к тому же сильно отклоняется от направления соударяющихся пучков, он может «выпасть» из струи адронов и тогда его не сложно обнаружить. Экстраполируя траектории таких электронов назад, к точке столкновения, можно убедиться, что продолжения траекторий в эту точку не попадают. Это означает, что до распада  $B$ -мезон успел пройти какое-то расстояние. Измерение этих ничтожных (доли миллиметра) расстояний и позволило определить время жизни  $B$ -мезонов.

Изучение распадов  $b$ -кварка дает информацию о взаимосвязи кварков различных сортов. Стандартная теория электрослабых взаимодействий не предсказывает значения ряда параметров, которые должны быть определены в экспериментах. Измерение времени жизни  $b$ -кварка поможет установить величину некоторых из этих параметров, имеющих отношение, в частности, к фундаментальной проблеме нарушения инвариантности относительно обращения времени. Эти же параметры определяют, как быстро и на какие частицы распадается  $b$ -кварк; установлено, например, что среди продуктов его распада очарованный  $s$ -кварк появляется гораздо чаще «обычного»  $u$ -кварка. Наконец, можно получить даже оценку на массу шестого, пока не наблюдавшегося  $t$ -кварка.

Напомним, что все кварки встречаются парами. И только кварк  $b$  (несмотря на свою пре-

лесть) до сих пор пребывает в «холостом» состоянии, поскольку не удается обнаружить его партнера по дублету —  $t$ -кварк. Недавно в работе Ш. Глэшоу с соавторами<sup>2</sup> была получена связь времени жизни  $b$ -кварка и массы  $t$ -кварка. При  $\tau_b \approx 10^{-12}$  с масса  $t$ -кварка больше 30 ГэВ. Поскольку в столкновениях электронов и позитронов  $t$ -кварки должны рождаться парами ( $t\bar{t}$ ), минимальная энергия, при которой этот процесс возможен, составляет около 60 ГэВ. Таких ускорителей пока нет. Но  $t$ -кварки могут рождаться и в столкновениях протонов с антипротонами, и такой ускоритель существует — это  $p\bar{p}$ -коллайдер в ЦЕРНе. На нем уже открыты промежуточные векторные бозоны. Возможно, те же детекторы теперь зарегистрируют  $t$ -кварки?

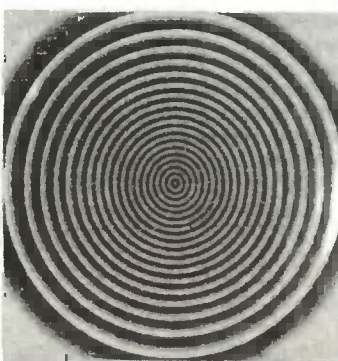
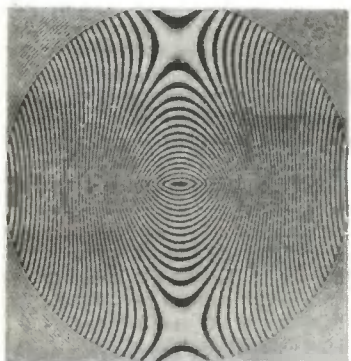
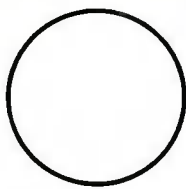
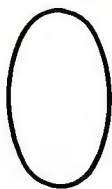
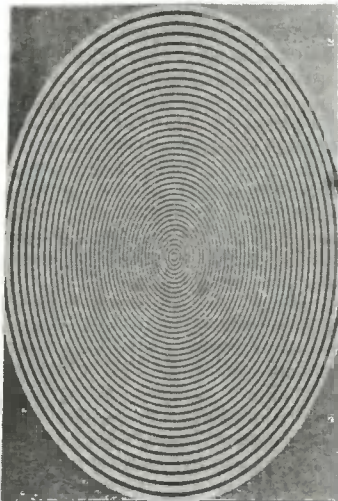
Physical Review Letters, 1983, № 51, p. 1022, 1316 (США).

Физика

## Фокусаторы

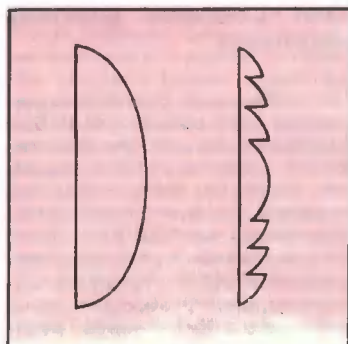
В последнее время широко развивается область оптики, использующая так называемые плоские элементы. Объясним на примере: фокусирующие свойства двух элементов (они показаны на рисунке), будут одинаковы, если изменение толщины второго элемента от ступеньки к ступеньке составит целое число длин волн фокусируемого излучения. В то же время толщина, а следовательно, вес и количество материала, необходимые для изготовления второго элемента, гораздо меньше, поэтому название «плоский оптический элемент» тут вполне оправданно. Подобные элементы известны давно, они используются, например, в прожекторах, автомобильных фарах и т. п. Однако применение их для белого (немонохроматического) света ограничено, так как из

<sup>2</sup> Phys. Rev. Lett., 1983, v. 50, p. 1415.



Амплитудные маски для изготовления рельефной поверхности зеркала фокусатора. Справа показаны маски, предназначенные для фокусировки под углом  $0^\circ$ , слева — под углом  $45^\circ$  к падающему пучку света. Между ними — форма линий, в которые должно быть сфокусировано излучение.

Два плоских фокусирующих элемента. Их фокусирующие свойства будут одинаковы, если изменение толщины второго от ступеньки к ступеньке составит целое число длин волн фокусируемого излучения.



самого принципа их действия ясно, что они эффективны лишь при фиксированной длине волны (частоте) излучения.

Различные технические приложения потребовали расширения функциональных возможностей плоских оптических элементов — не только дублирование различных линз, но и решение более общей задачи — преобразование падающего на них излучения с произвольным волновым фронтом в излучение с определенным волновым фронтом или концентрация энергии излучения на какую-либо заданную кривую с заданным распределением интенсивности. В Институте общей физики АН СССР под руководством А. М. Прохорова предложен и разработан принципиально новый класс синтезированных на ЭВМ оптических элементов с заданными свойствами. Они предназначены для фокусировки излучения и получили название фокусаторов.

Обычно зеркальные фокусаторы создают изображение в той же области, где проходит освещающий пучок, что неудобно для многих приложений. Физики ИОФ АН СССР теоретически и экспериментально решили задачу синтеза оптических отражающих элементов, фокусирующих излучение под произвольным углом к направлению исходного излучения в заданную линию в пространстве.

На втором рисунке приведены амплитудные маски, с помощью которых изготавливалась рельефная поверхность зеркала фокусатора. Разработанная методика открывает широкие возможности изготовления элементов плоской оптики. Квантовая электроника, 1984, т. 11, № 1, с. 155.

Физика

Солнечные элементы повышенной эффективности

В американской корпорации «Спейр» разработан процесс нанесения тонкой пленки из арсенида галлия непосредственно на кремниевую подложку. В результате вместо однозон-

ного<sup>1</sup> кремниевого элемента с эффективностью преобразования солнечной энергии около 12 % получен двухзонный элемент с теоретической эффективностью 30 %. При массовом производстве коэффициент преобразования составит 25 %.

Многочисленные попытки объединить эти два материала — дешевый кремний и широкополосный (т. е. преобразующий солнечное излучение в более широком спектре) арсенид галлия — предпринимались не раз, но безуспешно. С. М. Вернону (S. M. Vernon), работавшему по контракту с Институтом исследования солнечной энергии, для выращивания кристаллов GaAs удалось использовать процесс металлоорганического осаждения паров. Поток паров триметила галлия и мышьяковистого водорода продувался над поверхностью кремниевой подложки, нагретой до 600 °С. Электрический пробой в газах разрушал соединения, и свободные атомы мышьяка и галлия осаждались на кремний, образуя слой со скоростью 0,1 мкм/мин.

Laser Focus, 1983, v. 19, № 11, p. 8 (США).

#### Биохимия

### Средство против вирусных болезней

Вирусы способны жить и размножаться только внутри клеток. Поэтому фармакологические средства, способные проявлять терапевтическую активность против вирусных заболеваний (и в частности, против гриппа), исчисляются единицами, так как клетки защищают себя от проникновения внутрь чужеродных, и в том числе лекарственных, веществ.

Недавно группа болгарских специалистов во главе с Г. Георгиевым синтезировала ряд производных 1, 3, 4-оксадиазина и показала их противо-

вирусную активность. Синтез этих веществ, названных условно С-5, С-6 и С-7, был произведен на кафедре фармацевтической химии Софийского медицинского института, а их противовирусные свойства были испытаны в Институте микробиологии Болгарской академии наук. В установлении структуры синтезированных веществ большую помощь оказали сотрудники Института органической химии им. Н. Д. Зелинского АН СССР, использовавшие для этой цели методы ядерного магнитного резонанса и масс-спектрометрии.

Противогриппозная активность производных 1, 3, 4-оксадиазина была выявлена в опытах на культуре клеток, а также при введении этих веществ внутри куриных эмбрионов и белых мышей, зараженных вирусом гриппа. При изучении механизма действия этих соединений удалось установить, что они прекращают развитие гриппозной инфекции (в частности, гриппозной пневмонии) у мышей, зараженных вирусом гриппа, и препятствуют повреждению эпителия бронхов вирусом. Синтезированные вещества не влияют на процесс деления клеток, обладают умеренной токсичностью и мало или совсем не угнетают деятельность сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной и нервной систем.

Фармация, 1983, т. XXXIII, № 3, с. 1—7 (Болгария).

#### Биохимия

### Компьютер расширяет механизм действия фермента

Фермент супероксиддисмутаза (сокращенно СОД) был выделен и охарактеризован как белок еще в 1930-х годах, но только в 1969 г. удалось выяснить его функцию в клетке. Оказалось, что СОД регулирует концентрацию супероксидного радикала  $O_2^-$  — продукта одноклеточного восстановления кислорода. Катализируя реак-

цию дисмутации:  $O_2^- + O_2^- + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$ , супероксиддисмутаза ускоряет ее в  $10^4$  раз и, таким образом, снижает в клетке уровень  $O_2^-$  — радикала, являющегося причиной токсического действия кислорода и потому потенциально опасного для клетки.

СОД вездесуща: она присутствует во всех клетках, потребляющих кислород, а изменение ее активности и (или) скорости образования супероксидного радикала наблюдается при многих патологических состояниях организма, в том числе в опухолевых клетках. Однако до сих пор загадкой оставался механизм действия СОД, хотя была установлена первичная структура (последовательность аминокислот) фермента и его конформация, а также было известно, что в активном центре СОД содержатся ионы металлов, удаление которых приводит к обратимой потере ферментативной активности.

Пытаясь понять, как же СОД «ловит» и катализирует со столь большой эффективностью дисмутацию таких маленьких молекул, как  $O_2^-$ ; группа американских исследователей из разных научных учреждений провела компьютерный анализ данных о супероксиддисмутазе, полученной из разных клеток и содержащей в своем активном центре одновременно по одному атому меди и цинка (т. е. в данном случае речь идет о Cu, Zn-СОД; вообще же существует еще Fe-СОД и Mn-СОД).

Выяснилось, что в активном центре фермента имеется глубокий канал. На дне его расположен ион меди, связанный с четырьмя остатками гистидина, а под ним как бы «зарыт» ион цинка. Этот ион связан с тремя остатками гистидина, причем один из них служит «мостиком» между медью и цинком. Положение гистидинов, а следовательно, и ионов металлов в структуре канала стабилизируется сетью водородных связей. Вычислив электростатический потенциал вокруг и в самом канале активного центра фермента, авторы работы нашли, что суммарный заряд молекулы отрицателен, в то

<sup>1</sup> Имеется в виду наличие одной запрещенной зоны в зонной структуре полупроводника.

время как сам канал заряжен положительно. Именно это и обеспечивает отрицательно заряженному радикалу  $O_2^-$  свободный доступ к иону меди, на котором осуществляется катализ. Не будь канал активного центра заряжен положительно, возможность продуктивного взаимодействия на основе случайных столкновений СОД и  $O_2^-$  была бы чрезвычайно низкой: ведь площадь иона меди составляет лишь 0,1% от молекулярной поверхности фермента.

Так с помощью компьютера удалось установить механизм действия фермента, долгое время оставшийся неизвестным.

Nature, 1983, v. 306, № 5940, p. 284 (Великобритания).

#### Вирусология

### Механизм образования токсинов у бактерий

Блезнетворное действие ряда бактерий во многом обусловлено выделяемыми ими токсинами. До сих пор процесс образования токсинов мало изучен и непонятен. Так, например, холерные вибрионы или золотистый стафилококк, попадая в организм человека или животных, в одних случаях вырабатывают токсины, в других не вырабатывают. То же можно сказать и о многих других бактериях, способных к образованию токсинов.

Группа исследователей Рокфеллеровского университета во главе с С. Шутцером (St. Schutzer; США) изучала штаммы золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*), которые были выделены у больных с симптомами токсического шока, вызванного этими бактериями. У 11 из 12 штаммов стафилококка, выделенных от таких больных, были обнаружены вирусы бактерий (бактериофаги). В то же время из 18 штаммов этого микроба, выделенных от здоровых людей, бактериофаги были обнаружены лишь в одном случае.

Симптомы скарлатины, возникающие от *Streptococcus pyogenes*, как и симптомы дифтерии от *Corynebacterium diphtheriae*, вызываются токсинами этих бактерий. И в этом случае было установлено, что вырабатывают токсины только те штаммы бактерий, которые несут в себе бактериальные вирусы.

Как оказалось, бактериофаги используют два пути паразитирования в своих хозяевах-бактериях. Они могут или быстро размножиться после внедрения в бактериальные клетки, что ведет к гибели бактерий, или ДНК этих вирусов может быть включена в геном бактерий. Во втором случае бактериальные клетки продолжают жить, передавая вирусный геном своему потомству. Именно в этом случае бактерии вырабатывают токсины. Полагают, что вирусная ДНК или несет в себе гены, кодирующие белки токсинов, или же ее включение в геном бактерий активирует гены, ответственные за образование токсинов; эти гены до встраивания генома бактериофага были подавлены.

Теперь специалистам необходимо выяснить, участвуют ли бактериофаги в образовании токсинов и у других бактерий, кроме уже исследованных.

Science, 1983, v. 220, № 4594, p. 316 (США).

#### Физиология

### Какой палец точнее?

К настоящему времени специалистами получено немало фактов, говорящих о способности нервной системы человека оценивать короткие интервалы времени (менее одной секунды). Неясно, однако, является ли эта способность общей характеристикой нервной системы или различные подсистемы мозга обладают ею в различной степени. Физиологи А. Г. Смирнов и М. В. Полякова (Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова) поставили следующий эксперимент. Два сигнала-раздражителя

подавались на разные пальцы руки с промежутком 0,5 с. После второго сигнала испытуемый должен был нажать кнопку и держать на ней палец столько времени, сколько длился интервал между раздражениями (т. е. воспроизвести этот интервал). Опробовались различные сочетания: оба раздражения подавались на один и тот же палец; первое подавалось на большой палец, а второе — на какой-нибудь другой. Во всех случаях кнопку следовало нажимать тем пальцем, на который поступал второй сигнал-раздражитель.

Как правило, испытуемые держали палец на кнопке дольше 0,5 с. Однако абсолютное время фиксирования кнопки и вариативность этого показателя были совершенно различны в зависимости от «заинтересованных» пальцев: большой палец оценивал интервал с наибольшей точностью; достаточно высокой точностью отличался и мизинец; средний палец давал наибольшую ошибку при оценке времени, зато эта ошибка оставалась удивительно постоянной при многочисленных повторных пробах. По совокупности всех полученных характеристик авторы выделили, с одной стороны, подсистему большой палец — мизинец, с другой — указательный, средний и безымянный пальцы. Предполагается, что общность функциональных характеристик большого пальца и мизинца обусловлена прежде всего сходной структурой мышц, движущих эти пальцы, тогда как в основе объединения трех средних пальцев лежат в первую очередь особенности нервной системы, в частности тех зон коры мозга, которые ответственны за работу этих пальцев.

Физиология человека, 1983, т. 9, № 3, с. 374—380.

#### Психология

### Кодирование информации зависит от особенностей задачи

Психолог К. Яворска (К. Yavorska; Ле Муэн Колледж,



штат Нью-Йорк, США) исследовала вопрос, в какой форме — зрительных или слуховых образов — мозгу «удобнее» хранить информацию. Дело в том, что в настоящее время задачи, требующие сопоставления слуховой и зрительной информации, встречаются весьма часто.

В своих экспериментах она предлагала испытуемым сравнивать букву, показываемую на экране, с сопровождающим ее в наушниках звуком и нажимать кнопку в тех случаях, когда звук и буква не совпадают. Время реакции (интервал между стимулом и нажатием кнопки) зависело, как оказалось, от степени зрительного и акустического сходства между буквами (звуками), поскольку сходные объекты отличить друг от друга, естественно, труднее. Так, при одновременном предъявлении буквы Д и звука Т проверяется влияние акустического сходства, а, например, буквы С и звука О — зрительного сходства.

В одних случаях испытуемым предлагали «нажимать на кнопку как можно быстрее, пусть даже за счет увеличения числа ошибок», в других — «нажимать хотя и быстро, но главное — не ошибаться». Оказалось, что при стремлении к точности время реакции зависит только от зрительного сходства стимулов, а при стремлении к наибольшей скорости в работе — как от зрительного, так и от акустического сходства. Это говорит о том, что в первом случае информация фиксируется в зрительном анализаторе в форме зрительных образов, причем слуховые образы для сопоставления, по-видимому, перекодируются в зрительные. Во втором случае, вероятно, имеет место кодирование как в зрительной, так и в слуховой системе.

Эти данные противоречат так называемому «принципу наименьшего усилия», согласно которому зрительное кодирование является наиболее экономичным в смысле сбережения времени и усилий, необходимых для переработки информации. В проведенном эксперименте, напротив, зрительное кодирование оказалось оптимальным для достижения максимальной точно-

сти, тогда как максимальный темп достигался при кодировании в форме слуховых образов.

*Perceptual and Motor Skills*, 1983, v. 56, p. 499—504 (США).

#### Медицина

### Психические нарушения при болезни Паркинсона

Болезнь Паркинсона, проявляющаяся в первую очередь в нарушениях двигательной сферы, — это заболевание подкорковых ядер головного мозга. В основе болезни лежит нарушение метаболизма допамина — одного из важнейших веществ, осуществляющих перенос возбуждения с одной нервной клетки на другую. Болеют, как правило, пожилые люди.

Нейропсихологи А. Лиз и Э. Смит (А. Lees, E. Smith; Национальная неврологическая больница, Лондон) установили, что уже на ранних стадиях этого заболевания возникают психические нарушения, которые хотя и не проявляются отчетливо в поведении, однако могут быть выявлены с помощью специальных методов нейропсихологического обследования. Как общие, так и специальные умственные способности больных болезнью Паркинсона не изменены по сравнению со здоровыми людьми того же возраста. Однако при необходимости формировать новые понятия, а также быстро переключаться с одной деятельности на другую способности больных оказались существенно сниженными. Например, при задании назвать как можно больше слов на букву Д больные называют слова столь же быстро, как и здоровые. Но когда затем их просят называть слова на букву В, потом — на букву М, появляются специфические ошибки: больные стремятся называть слова на «предыдущие» буквы. Это говорит о недостаточной гибкости познавательных процессов у таких больных.

Полученные результаты

имеют двойное значение. Во-первых, поскольку биохимические и патофизиологические основы болезни изучены достаточно хорошо, можно говорить об участии допаминэргических (т. е. функционирующих с помощью допамина) структур мозга в обеспечении определенных сторон познавательной деятельности. Во-вторых, не исключено, что нейропсихологические методы окажутся эффективными в диагностике заболевания на столь ранней стадии, когда специфические двигательные нарушения еще слабо выражены.

*Brain*, 1983, v. 106, p. 257—270 (Великобритания).

#### Медицина

### Новые данные о псораленах

В терапии ряда кожных заболеваний (псориаза, витилиго, экземы и др.) широко применяется комбинированное действие ультрафиолетового облучения и химических соединений, носящих название псораленов (или фурукумаринов). Молекулярной основой фототерапевтического действия псораленов считалось образование ими ковалентных связей с пиримидиновыми основаниями либо с одной цепью ДНК (монофункциональные псоралены), либо с двумя ее цепями (бифункциональные псоралены). Образование этих связей ведет к ингибированию синтеза ДНК, белков, а также к повреждению различных клеток, в том числе и обуславливающих кожное заболевание.

Ранее полагали, что реакция псораленов с ДНК под действием ультрафиолета происходит без участия молекулярного кислорода. Однако П. Джоши и М. Пасак (P. C. Joshi, M. A. Pathak; факультет дерматологии Гарвардской медицинской школы и Массачусетская больница общего профиля, Бостон, США) доказали, что псорала-

лены могут реагировать и с молекулярным кислородом. Более того, оказалось, что его активные формы (синглетный кислород и супероксидные радикалы) быстрее образуются в реакции ДНК с моно-, а не с бифункциональными псораленами.

Хорошо известно, что активные формы кислорода вызывают злокачественное перерождение клеток, повреждение, а значит, и гибель самих клеток, а также отек тканей клеточных мембран. Если раньше монофункциональные псоралены считались неканцерогенными, то теперь их роль в возникновении рака кожи приходится пересмотреть. По-видимому, как бифункциональные, так и монофункциональные псоралены — далеко не безобидные лекарственные средства.

Biochemical and Biophysical Research Communication, 1983, v. 112, № 2, p. 638—646 (США).

#### Биология

### Вес мозга у хрящевых рыб

Показателем развития умственных способностей животных, разумеется достаточно приближенным, принято считать относительный вес мозга. С увеличением размеров животного относительный вес мозга уменьшается, поэтому для сравнения животных разных размеров используют уравнение аллометрии:  $E = kS^a$ , где  $E$  — вес мозга,  $S$  — вес тела,  $k$  — коэффициент пропорциональности (коэффициент энцефализации),  $a$  — показатель аллометрии.

Считается, что в период роста вес мозга увеличивается пропорционально площади поверхности тела (т. е. пропорционально квадрату длины тела), а вес тела — пропорционально кубу длины; следовательно, коэффициент  $a = 2/3$ . Отклонения от среднего показателя аллометрии обычно невелики. Так, величина показателя аллометрии для разных отрядов млекопитающих составляет в сред-

нем 0,63—0,65, пресмыкающихся — 0,66, земноводных — 0,56—0,60, костистых рыб — 0,65—0,67. Однако впервые произведенный расчет этого показателя у хрящевых рыб — 16 видов акул и скатов<sup>1</sup> — дал неожиданно высокий результат: 0,94, что близко к величине аллометрии у приматов (0,93). Последующие, несколько более полные данные показали, что в действительности у хрящевых рыб эта величина ниже — до 0,76, но и это значения далеко выходят за пределы, свойственные остальным позвоночным<sup>2</sup>. Это дало основание Е. М. Крепсу высказать мнение, что «акулы и скаты по развитию нервной системы стоят... выше костистых рыб и... приближаются к птицам и млекопитающим»<sup>3</sup>.

В недавней своей работе совместно с В. А. Аминовой автор пересчитал показатель аллометрии веса мозга у хрящевых рыб, используя более подробные данные, в том числе по мало изученным группам этих рыб<sup>4</sup>. Определив вес мозга 29 видов акул, 14 скатов и 2 видов химер (пределы веса от 40 г до 2 т), мы получили среднее для всех хрящевых рыб значение показателя аллометрии 0,60, что мало отличается от показателей для других позвоночных. Среднее для всех позвоночных значение показателя  $a$  равно 0,64, т. е. близко к теоретически рассчитанной величине 0,67. Таким образом, по относительно-му весу мозга хрящевые рыбы не имеют принципиальных отличий от костистых рыб и холоднокровных четвероногих.

Н. А. Мягков  
Москва

#### Зоология

### Мирная акула-большерот

15 ноября 1976 г. один из научно-исследовательских кораблей ВМС США проводил гидрологические работы в открытом океане в 42 км северо-восточнее о-ва Оаху (Гавайи). Глубина (4600 м) была слишком велика, чтобы стащить на якорь, и для уменьшения дрейфа опустили два плавучих якоря-парашюта на глубину 165 м. Когда работы были закончены, один якорь выбрали благополучно, а во втором запуталась солидная размерами акула. Она весила 750 кг, достигала 446 см в длину и обладала громадной шаровидной головой с необыкновенно толстыми сосисковидными губами. К удивлению ихтиологов, осмотревших акулу на берегу, выяснилось, что она принадлежит к неизвестному виду, роду и семейству, чего трудно было ожидать в достаточной мере хорошо изученных гавайских водах. К тому же акула оказалась вовсе не хищником, а планктоноядным видом. Из-за громадного рта ее назвали большеротом.

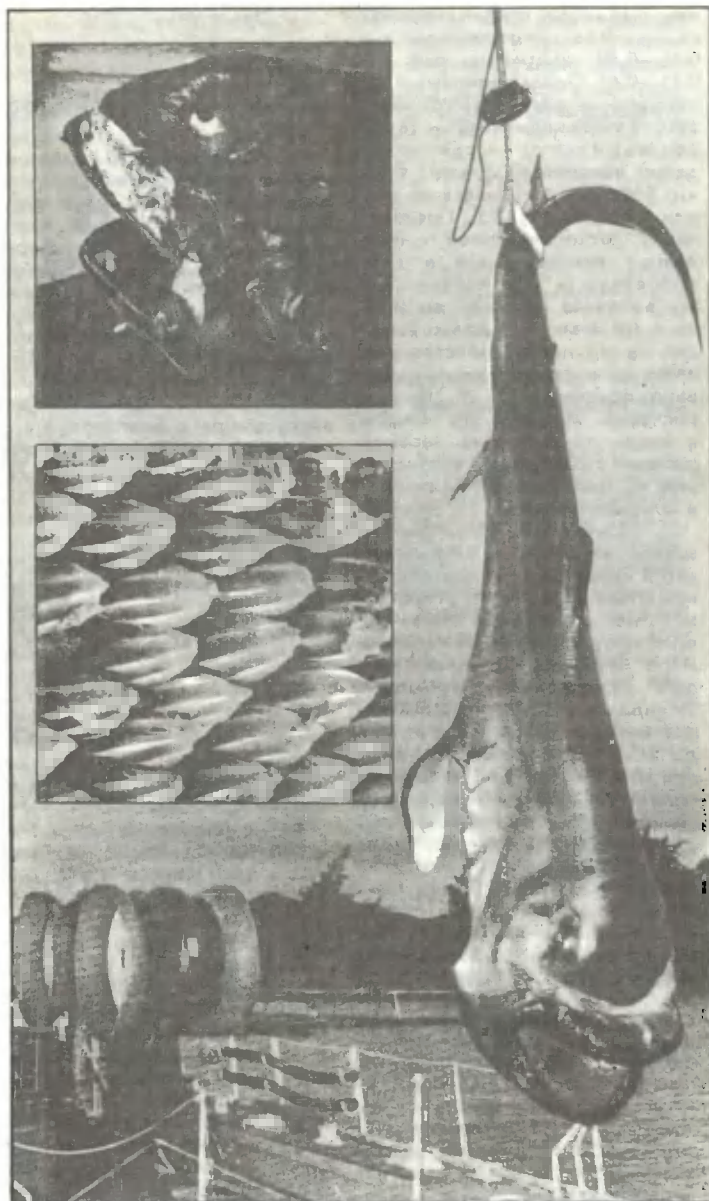
Недавно ихтиологи Л. Тейлор, Л. Компаньо и П. Дж. Стражейер (L. Taylor, L. Compagno, P. J. Struhsaker) опубликовали научное описание этой находки. Ее латинское название *Megachasma pelagios*, т. е. «гигантская пасть открытого океана». Акула причислена, правда без особой уверенности, к отряду ламноидных акул. Абсолютное большинство видов этого отряда (сельдевая, песчаная акула, акула-молот и др.) — хищники. Но входят в отряд и две планктоноядные — китовая и гигантская, самые большие из акул. Питаются они приповерхностным планктоном, в основном веслоногими рачками. Жить на глубине не могут; гигантскую акулу называют даже «акулой, греющей на солнце». Китовая акула живет в тропиках, и там корма для нее хватает в течение всего года, а у гигантской акулы положение тяжелее: в умеренных широтах рачки на зиму уходят в глубокие слои воды, и, лишившись пищи, гигантские акулы сбрасывают жаберные тычинки, которыми

<sup>1</sup> Bauchot R., Platel R., Ridet J.-M. — *Copeia*, 1976, № 2, p. 305; Bauchot R. et al. — *Ibid.*, 1977, № 1, p. 42.

<sup>2</sup> Northcutt R. G. *Sensory biology of sharks, skates and rays*. Arlington (USA), 1978, p. 117.

<sup>3</sup> Крепс Е. М. — *Биология моря*, 1980, № 5, с. 3.

<sup>4</sup> Мягков Н. А., Аминова В. А. — *Ж. общ. биол.*, 1983, т. 44, № 3, с. 381.



Случайно пойманная американскими моряками акула-большерот на борту корабля. На врезках: вверху — голова акулы, видны толстые губы; внизу — чешуйки («ножные зубы») с грудного плавника.

отцеживают воду, и залегают на дно в «зимнюю спячку».

В отличие от них большерот — полуглубоководная акула. Основная зона ее обитания ме-

зопелагиаль, т. е. глубина порядка 150—500 м. Главная пища — рачки эвфаузииды (криль). Напав на их стаю, большерот разевает пасть (свыше метра в поперечнике) с толстыми широкими губами (орган осязания?), заглатывает большой объем воды и, прижав громадный язык к небу, процеживает воду сквозь тесно сближенные жаберные тычинки, а оставшихся в пасти рачков языком проталкивает в глотку.

Содержимое желудка большерота напоминает «густой красный суп». Таким образом, характер питания большерота такой же, как у усатых китов, но киты, подобно гигантской и китовой акулам, питаются в приповерхностных слоях, а в мезопелагиали они большероту не конкуренты.

Обитание в морских глубинах привело к выработке у большерота ряда интересных приспособлений. Рот раскрывается шире, чем у всех известных видов акул. Ротовая полость выстлана изнутри ярко-серебристой тканью, предположительно светящейся; не исключено, что акула светом заманивает добычу прямо в пасть. Скелет состоит из мягкого хряща, мышцы сильно оводнены — вероятно, большерот плохой пловец. Это косвенно подтверждают шрамы на горле и за правым грудным плавником — следы нападения мелкой акулы. Единственный экземпляр большерота — взрослый самец; поскольку у акул самки обычно больше самцов, можно ожидать в будущем помки и значительно более крупных особей.

Изучение зубов большерота, а их 236, оказалось весьма интересным для палеоихтиологов. Установлено, что их зубы близки к зубам ископаемых акул, найденным в Англии. Акулы той же эволюционной линии, но более примитивные, чем большерот, обитали, судя по находкам ископаемых зубов, и там, где ныне находятся штаты Орегон и Калифорния (США).

Proceedings of the California Academy of Science, 1983, v. 43, № 8, p. 87 (США); New Scientist, 1983, v. 100, № 1381, p. 266 (Великобритания).

#### Этология

### Зачем антилопе рога!

Головы самцов у различного вида антилоп украшены рогами всевозможных форм: здесь и короткие «кинжалы», и длинные «копья», и полукольца, и величественные спирали. И все это — ради наполеонов ритуального сражения с другим сам-

цом, претендующим на главенство в стаде. Однако примерно у половины видов африканских антилоп рогами обладают и самки. Правда, у них, даже при равном с самцами весе тела, это украшение, как правило, вдвое менее массивно и не столь круто закручено. Интересен и такой факт: у самок острие рогов обращено всегда вовне, а не к собственной голове или вбок, как это нередко наблюдается у самцов. Таким образом, делают заключение некоторые зоологи, «слабый пол» оказывается лучше подготовленным к обороне от хищников — делу куда более серьезному, нежели сражения самцов одного и того же вида. Однако, возражают другие, видевшие антилопу любого пола, отбивающуюся от хищников, мало кому удавалось.

Собрав большой статистический материал, этолог К. Паркер (С. Parker; Чикагский университет, штат Иллиной, США) на основе этих наблюдательных фактов пришел к выводу: главным фактором, определяющим наличие рогов у самок антилоп, является вес их тела, от которого, в свою очередь, зависит реакция животного на появление хищника. Ведь известно, что мелкие животные, как правило, при его появлении бегут или прячутся, тогда как у более крупных преобладает стремление обороняться. Никакой связи между наличием рогов и другими факторами, на которые указывали некоторые исследователи (образуют ли антилопы крупное стадо, равны ли по размерам самцы и самки, живут ли на подножном корму), Паркер не обнаружил. Тем не менее позицию Паркера оспаривают другие опытные специалисты по поведению животных. Например, этолог В. Гейст (V. Geist; Зоопарк Калгари в провинции Альберта, Канада) и Ф. Уолтер (F. Walthers; Техасский университет, США) считают, что активно оборонительная реакция у антилоп весьма редка и не может объяснять присутствие «оружия» у самок. Скорее, можно полагать, что в крупном стаде самки используют рога для «выяснения отношений» друг с другом.

## Первый ископаемый гребневик

Гребневники — тип морских, преимущественно планктонных хищных животных, близких к кишечнорастворимым. Типичный гребневик (например, широко распространенная в наших морях, от Белого и Балтийского до Черного моря, плевробрахия) напоминает крупную ягоду крыжовника с двумя длинными тонкими щупальцами. По радиусам «ягоды» от «северной» точки до «южной» тянутся 8 рядов крохотных гребневидных пластинок — своеобразных миниатюрных весел (от них и происходит название «гребневик»). Снизу «ягоды» — рот, сверху — орган равновесия,статоцист. По бокам от кишечника — особые карманы, куда втягиваются щупальца. Отходящие от ствола щупалец многочисленные «поводы» унизаны липкими клетками — это главное оружие гребневика: с их помощью он охотится на рачков и личинок рыб.

Гребневники разнообразны. Есть похожие на огурец, на электролампочку, на плоскую ленту до полутора метров длины. У одних щупальца сохраняются в течение всей жизни, у других — только в молодости, у третьих их нет вовсе (они ловят добычу мускулистыми губами). Есть и ползающие донные гребневники. Но все это исключительно нежные, хрупкие животные, как минимум на 95 % состоящие из воды — «живой студень». Они так нежны, что, пойманные сетью, распадаются на бесформенные комочки слизи. Естественно, такое «желе» в обычных условиях не может сохраняться в ископаемом состоянии. И действительно, ископаемых гребневиков до сих пор не было известно. Они были чуть ли не единственным типом животных, не обнаруженным в ископаемом состоянии.

Но вот, наконец, найден первый ископаемый гребневик!

Его обнаружил палеонтолог-любитель из ФРГ В. Штюрмер, физик по образованию, при рентгенологическом обследовании богатой коллекции ископаемых, собранной Г. Брасселем в так называемых хунсрюкских сланцах — отложениях нижнедевонского возраста (свыше 400 млн лет), разрабатываемых в сланцевой шахте близ Бунденбаха (ФРГ). Хунсрюкские слои чрезвычайно богаты ископаемыми, и сплошное рентгенологическое обследование коллекции позволило выявить огромное число всевозможных организмов. Среди них — и пиритизированный отпечаток гребневика. Он был изучен В. Штюрмером и американским палеонтологом Дж. Стенли и описан как новый род и вид — *Palaeostenophora brasseli* (г. е. «древний гребневик Брасселя»).

В процессе пиритизации входящая в состав живых организмов сера переходит в сульфиды железа, поэтому рентгенография может восстановить положение богатых протеинами структур. По стереофотографиям в рентгеновских лучах удалось реконструировать форму сплюсненного в породе животного, распознать положение гребных пластинок, щупалец,статоциста, кишечной полости, глотки, мышечных волокон.

Древний гребневик оказался очень похожим на плевробрахию. Его тело размером  $13 \times 9$  мм имело яйцевидную форму. Щупальца были ветвистыми. Сохранилось одно из них длиной 5 см. На нем отчетливо видны короткие отростки, на которых у современных гребневиков сидят липкие клетки. Глотка — на нижнем конце тела, орган равновесия — на верхнем. Животное, без сомнения, относилось к тому классу щупальцевых гребневиков (*Tentaculata*) и отряду цидиппоидных (*Cydippidea*), что и плевробрахия. Очевидно, что гребневики почти не изменились за 400 млн лет и возникли гораздо раньше девона, возможно еще в позднем докембрии, свыше 600 млн лет назад.

Палеоктенофора — редчайшее из ископаемых. Нежное планктонное животное могло быть захоронено и сохраниться только в крайне редко возни-

кавших условиях. Поэтому нельзя установить, насколько часто встречались ее собратья в палеозойских морях. Но вполне вероятно, что древние гребневники были не менее обычными и столь же широко распространенными компонентами планктонных экосистем, как нынешние.

**К. Н. Несис,**  
кандидат биологических наук  
Москва



Экология

## Рак у рыб из загрязненных водоемов США

До сих пор опасность возникновения рака под воздействием ряда антропогенных веществ-загрязнителей изучалась прежде всего в отношении человека; образование опухолей у животных исследовалось большей частью в лабораторных условиях. Накопленные ныне данные о состоянии живых организмов в их природных местобитаниях со всей очевидностью говорят о необходимости дальнейшего усиления борьбы с загрязнением естественной среды.

Сотрудники Смитсоновского института (США), ведущие так называемый Регистр опухолей у низших животных, всерьез обеспокоены сообщениями о высокой частоте опухолей у рыб, вылавливаемых в пяти различных районах страны. На северо-западе США, в одном из заливов (Puget Sound, штат Вашингтон) рак печени у звездчатой камбалы (*Platichthys stellatus*) в некоторых случаях обнаруживается у каждой четвертой рыбы. Установлено, что содержание здесь в донных осадках ароматических углеводородов, полихлорбифенилов, хлорированных бутадиенов и тяжелых металлов во много раз (до 30) выше, чем в незагрязненных водоемах. В реках Буффало (штат Нью-Йорк) и Блэк-Ривер (штат Огайо) у 30 % обследованных американских сомоиков (*Ameiurus nebulosus*) найден рак печени и кожи. Тяже-

лые формы рака печени обнаружены также у тресковой рыбы (*Microgadus tomcod*) из реки Гудзон. Особенно драматичной оказалась картина при исследовании канадского судака (*Stizostedion canadense*) из озера Торч в штате Мичиган: рак печени выявлен у 100 % обследованных рыб.

Все рыбы, больные раком, выловлены в водоемах, расположенных вблизи промышленных центров. В этих же районах повышена заболеваемость раком и у людей. Не вызывает сомнения, что причина рака у рыб заключена в загрязнении этих участков гидросферы.

*New Scientist*, 1983, v. 99, № 1377, p. 913 (США).



Экология

## Перспективы существования тупиков

На о-ве Рёст, самом южном из Лофотенских о-вов, вытянувшихся вдоль северо-западного побережья Норвегии, находится крупнейшая в мире колония тупиков: по подсчетам орнитологов, здесь гнездится не менее 650 тыс. пар этих птиц, что составляет около 1/12 их общей численности на земном шаре. Однако начиная с 1969 г. специалисты стали замечать, что почти ежегодно вскоре после вылупления около половины птенцов погибает. Исследования группы норвежских орнитологов во главе с Г. Лидом (G. Lid) показали, что причиной гибели птенцов является недостаток пищи.

Установлено, что с конца 60-х годов чрезмерный вылов мелкой сельди, кильки и других видов рыб, служащих главным источником питания тупиков, подорвал их запасы в Норвежском море. Другой возможной угрозой существования тупика считают повышение температуры морской воды. Такое явление, отмечавшееся в начале 70-х годов у южного побережья Британских о-вов, на которых гнездится более 300 тыс. пар ту-

пиков, действительно предшествовало массовой гибели этих птиц.

Летом 1983 г. ежегодный мор птенцов на Лофотенских о-вах, наконец, прервался. Смертность новорожденных тупиков впервые с 1974 г. была минимальной, что обеспечило заметный прирост численности колонии. В случае, если на будущий год вновь не будет хватать пищи, полмиллиона выживших в 1983 г. птенцов обеспечат сохранность популяции на ближайшее время.

*New Scientist*, 1983, v. 99, № 1373, p. 605 (Великобритания).



Охрана природы

## Морской слон будет жить

Слоном этого тюленя называют потому, что у взрослого самца нос вырастает в свешивающийся «хобот» длиной до 40 см, а масса пятиметрового тела достигает 3,5 т. Питается этот гигант главным образом осьминогами и другими головоногими моллюсками и рыбой.

Известно два вида морских слонов. Северный (*Mirounga angustirostris*) живет в теплых субтропических водах Тихого океана и именуется так, чтобы можно было отличить его от южного сородича (*M. leonina*), который встречается на куда более суровом юге, в водах омывающих Патагонию, Огненную Землю и Антарктиду.

Еще в 1911 г. натуралисты были встревожены: по их подсчетам, на свет тогда появилось всего шесть новорожденных детенышей северного морского слона. Даже если сделать скидку на неполноту наблюдений в начале века, очевидно, что для тревоги были все основания. Доверчивые и безоружные на суше, где они проводят три месяца в году, эти тюлени-гиганты подвергались варварскому истреблению ради шкуры, жира, а иногда просто ради спортивного интереса.

Одно время северный



Северные морские слоны на о-ве Ано-Нуово у побережья Калифорнии, сфотографированные А. В. Яблоковым в 1983 г. Лежбище образовалось около 15 лет назад в процессе восстановления численности ареала этого вида, почти исчезнувшего в начале XX в.

морской слон вообще был объявлен вымершим, но позже небольшое стадо было замечено на о-ве Гуадалупе и других скалистых островках у побережья мексиканской территории Нижняя Калифорния. Когда был принят закон, запрещающий не только охотиться, но и беспокоить этого зверя, ученые начиная с 1950 г. стали отмечать рост численности морского слона, достигший 14 % в год. Стада морских слонов начали снова заселять прикалифорнийские остро-

ва, где во множестве водились их предки.

В 1982 г. перепись северных морских слонов провела большая группа зоологов, возглавляемая Ч. Ф. Купером и Б. С. Стюартом (С. Ф. Соорег, В. S. Stuart; Университет Сан-Диего и Институт исследования моря им. Хаббса в Сан-Диего, штат Калифорния, США). Поскольку все взрослые животные одновременно на берегу не собираются, точный их подсчет невозможен. Зато детеныши практически неподвижны, и именно их перепись была особенно показательной: в одном только 1982 г. у берегов Мексики и США появилось на свет 25 тыс. детенышей. Теперь будущее морского слона представляется достаточно благополучным.

Science, 1983, v. 219, № 4587, p. 969—971 (США).



## Что больше загрязняет море!

По опубликованным в США официальным данным, 20 тыс. скважин, пробуренных для добычи нефти на морском шельфе этой страны, ежегодно начиная с 1971 г. теряли около 1 млн л нефти. Это составляет, однако, не более 0,05 % загрязнения океана нефтепродуктами.

Значительно больше виноват в этом танкерный флот, который в результате аварий или даже просто при работе в нормальной обстановке «поставляет» 20 % загрязняющей море нефти.

Около 41 % загрязнений нефтепродуктами приносят в море реки.

Наконец, естественные причины — природная утечка из нефтеносных слоев морского дна — дают примерно 15 % загрязнения.

Science News, 1983, v. 124, № 8, p. 119 (США).

## Геотектоника

### Великая «оспина» Земли

Измерения с борта искусственных спутников Земли показывают, что поверхность Индийского океана в районе, вытянутом на две с лишним тысячи километров к югу от южной оконечности п-ва Индостан, лежит более чем на 100 м и ниже средней поверхности Мирового океана. Здесь же отмечается и крупнейшая аномалия гравитационного поля нашей планеты.

На основе анализа гравиметрических и геофизических данных С. М. Инен и Дж. Х. Уитком (S. M. Innen, J. H. Whithcomb; Университет штата Колорадо, Боулдер, США) пришли к выводу, что земная кора в этой области испытала погружение на 600 м относительно своего равновесного положения. Вероятно, это было вызвано постулируе-

мым новой глобальной тектонической движением Индийской плиты земной коры, «упершейся» в Евразийский континент, что, в частности, привело к воздыманию Гималайской горной системы.

Можно полагать, что погрузившийся участок представляет собой часть опускающейся конвекционной ячеи или же «след», оставляемый Индийской плитой при ее смещении на север. Косвенным подтверждением такого предположения может служить тот факт, что аналогичные депрессии обнаружены в тылу Австралии, Южной Америки и Центральной Америки, также испытывающих собственный дрейф.

Geophysical Research Letters, 1983, v. 10, № 6, p. 421 (США).

#### Океанология

### Необычно высокая геотермальная активность

Исследования морского дна в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия у юго-западного побережья Мексики, выполненные американскими учеными во главе с Р. Хекиняном (R. Hekinian), дали свидетельства необычно высокой здесь геотермальной активности, сопровождающейся интенсивным образованием сульфидов. Скорость спрединга (растяжения морского дна) также очень высока в этом районе — до 12 см/год, что примерно вдвое превышает скорость спрединга в пределах этого же подводного хребта у 20° с. ш., где впервые на Восточно-Тихоокеанском поднятии были обнаружены отложения полиметаллических сульфидов.

Цветные фотографии дна, полученные на 400-метровом отрезке поднятия между зонами земной коры Ороско и Клиппертон, показывают, что в центральном грабене расположены многочисленные, следующие друг за другом открытые трещины, ориентированные параллельно гребню поднятия, каж-

дая шириной от нескольких десятков сантиметров до 4 м. На фотографиях запечатлены три вида лавовых потоков: дольчатый слой в центральном гребне и на боковых возвышениях; ненарушенный плоский слой в виде отдельных «пята»; подушечные лавовые потоки на склонах двойных хребтов, ограничивающих грабен. В центральном грабене замечено также множество вертикальных «столбов» высотой более 10 м — остатки ранее существовавших лавовых озер.

Драгирование дна показало, что в этом районе находится скопление вуртцитов, пиритов и марказитов, местами связанное с сульфидами меди и цинка. Возраст коры оценивается исходя из средней скорости спрединга, составляющей 6 см/год, примерно в 300 тыс. лет. Это говорит о том, что аккумуляция железа и марганца из гидротермальных излияний шла здесь в условиях высоких температур весьма интенсивно.

Возможно, это открытие окажется перспективным для добычи полезных ископаемых.

Episodes, 1983, № 2, p.29—30 (Канада).

#### Сейсмология

### Сейсмический риск для Британских островов

Комплексная группа сейсмологов, геологов и историков из Имперского колледжа (Лондон), возглавлявшаяся Р. М. Вудом (R. M. Wood), изучала сейсмическую активность на Британских о-вах. Анализ средневековых монастырских хроник, летописей, различных дневников, газетных сообщений и пр. позволил впервые составить каталог землетрясений в этом районе более чем за тысячу лет. Наиболее древнее зафиксированное людьми землетрясение произошло здесь в VII в. Самым интенсивным в истории было землетрясение 1247 г., когда почти полностью был уничтожен собор Св. Давида в Пембруке. Разразившееся в 1185 г. землетрясение почти совсем разрушило со-

бор в Линкольне. Мощные подземные толчки отмечались также 21 мая 1382 г., когда пострадали здания в Кентербери, и дважды в 1750 г., когда в Лондоне рухнул ряд общественных и жилых сооружений. В 1790-х годах начался и продолжался до середины XIX в. период слабой, но почти непрерывной сейсмической активности в районе Комри в Шотландии.

На базе этих сведений, опираясь на математическую статистику, исследователи делают вывод, что, вопреки установившемуся мнению, некоторая сейсмическая активность не исключена на Британских о-вах и ныне. Геолого-геофизические данные показывают, что зона сейсмической активности, которая прослеживается на Европейском континенте вдоль всей территории Бельгии и на юго-востоке Голландии, а затем уходит на дно Северного моря, по всей видимости, связана и с районами юго-восточной Англии. Ныне в ряде мест Голландии происходит вызванный тектоническими процессами подъем земной поверхности: возникают купола и холмистые гряды, особенно заметные на фоне общего выровненного рельефа этой страны. Высказываются предположения, что наблюдаемые в настоящее время быстрые вертикальные движения земной коры и погружение эстуария р. Темзы тоже связаны с тектоническими процессами на противоположном побережье Ла-Манша. По геологическим данным, территория северной части графства Кент за последние 2 млн лет поднялась примерно на 200 м, а территория графства Эссекс, напротив, опустилась и теперь в большей мере, чем ранее, подвержена наступлению моря.

На основе всей имеющейся информации специалисты делают вывод, что на территории графства Кент (крайний юго-восток Англии) неизбежно мощное землетрясение, сравнимое с событиями 1382 г. Правда, современное состояние проблемы прогноза не позволяет определить, произойдет ли оно в ближайшее время или через столетие.

New Scientist, 1983, v. 99, № 1373, p. 606 (Великобритания).

## Прогноз находок алмазов

Современная наука объясняет происхождение алмазов постепенным укрупнением в условиях земной коры затравок этого минерала за счет углерода из газовой фазы потока восстановленных флюидов. Затравкой могут служить как кристаллики алмаза из внедренных в земную кору мантийных пород (в частности, кимберлитов), так и рассеянный в метаморфических породах графит.

Развивая представления об определяющей роли флюидов в образовании алмазов, Ф. А. Летников (Институт земной коры СО АН СССР, Иркутск) пришел к выводу о потенциальной алмазности принципиально новых объектов — зон древних глубинных разломов. Внедрение сюда пород из верхней мантии, могущих содержать затравку алмаза, а также установленное для некоторых подобных зон сохранение потока восстановленных летучих компонентов в течение десятков миллионов лет позволяет надеяться на возникновение довольно крупных индивидов этого исключительно ценного минерала. Благоприятствуют этому и тектонические напряжения, которые, как показывают эксперименты, резко ускоряют реакции синтеза алмазов, а главное — снижают температуру и давление фазовых переходов графит — алмаз.

На основании имеющихся данных по эволюции флюидного режима в зонах тектонических нарушений автор считает наиболее перспективными подвижные зоны архея или протерозоя, что не исключает, однако, образования алмазов и в более молодых зонах разломов с восстановительным режимом летучих компонентов. При изучении подобных протяженных поясов глубинных нарушений следует учитывать распространенность мантийных пород, несущих затравку алмазов, а также гетерогенность зон, неодинаковую проницаемость пород для флюидов, различную окислительную способность пород по отношению к ле-

тучим и другие факторы, способные привести к крайне неравномерному распределению алмазов и их последующему «выгоранию» в  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  или же переходу в графит.

Доклады АН СССР, 1983, т. 271, № 2, с. 433—435.

## Археология

### Древнейшие тасманийцы

Комплексная экспедиция, возглавляемая геоморфологом К. Кирненом [K. Kiernan; Тасманийский университет, Хобарт] и археологом Р. Джонсом (R. Jones; Австралийский национальный университет, Аделаида), при участии сотрудников Управления национальных парков Тасмании всесторонне исследовала крупнейшую пещеру этого острова — Фрейзер-Кейв, расположенную в долине р. Франклин, на юго-западе Тасмании. Здесь открыта стоянка первобытного человека, населявшего эту область 20 тыс. лет назад, в середине последней ледниковой эпохи. Первые люди пришли на Тасманию около 22—23 тыс. лет назад, когда уровень океана в связи с оледенением был не менее чем на 150 м ниже современного и остров соединялся с Австралией сухопутным «мостом». В это время в Тасмании преобладал сходный с субарктическим климат, и ее население, очевидно, занималось охотой в условиях тундры.

При раскопках в пещере найдено около 75 тыс. каменных орудий и их обломков, а также 35 кг костей различных животных, послуживших пищей древним обитателям пещеры. 90 % костей принадлежат крупному кенгуру (*Macropus rufogriseus*), 8 % — сумчатому грызуну вомбату (*Vombatus ursinus*) и 2 % — различным мелким млекопитающим (*Sarcophilus harrisi* и др.). Очевидно, для тасманийца кенгур играл примерно такую же роль, как олень для североевропейского человека. Во всех отложениях этой пещеры кости животных, в большинстве своем

обугленные, залегали совместно с примитивными каменными орудиями характерного австралийского типа. Остеологический анализ показал, что обитавшие в то время животные относятся к тем же видам, что и современные нам; никаких остатков вымерших крупных млекопитающих не обнаружено. Очевидно, гигантские сумчатые, встречавшиеся здесь ранее, вымерли не в результате неограниченной охоты на них людей, как полагали некоторые специалисты, а по каким-то естественным причинам.

Хотя в пещере найдено несколько куч красной охры, следов настенных рисунков или иного использования краски не замечено.

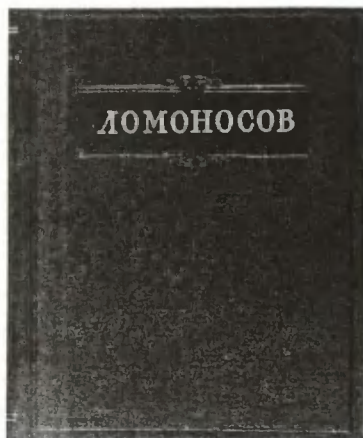
Люди населяли пещеру на протяжении 5 тыс. лет. Около 15 тыс. лет назад ледники в связи с потеплением климата начали отступать, влажность возросла. Долина р. Франклин заросла густыми влажными лесами, охота прежними способами стала невозможной, и люди покинули этот район. Примерно 10 тыс. лет назад оледенение полностью отступило и остров оказался отрезанным от Австралии морским проливом. Изоляция оставшихся на Тасмании людей сохранялась до прихода белого человека в XVIII в. Техника изготовления орудий труда у аборигенов, насчитывавших к тому времени 3—5 тыс. человек, по-видимому, оставалась прежней. Последняя чистокровная тасманийка умерла в 1876 г. Таким образом, изучение пещеры Фрейзер-Кейв дает археологам уникальную возможность ознакомиться с жизнью окончательно исчезнувшей этнической группы.

Nature, 1983, v. 301, № 5895, p. 28 (Великобритания).



## К завершению издания сочинений М. В. Ломоносова

Г. К. Цаева  
Бокситогорск



М. В. Ломоносов. ПОЛНОЕ СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ. Т. XI. Отв. ред. Г. Е. Павлова, Л.: Наука, 1983, 422 с.

Выходом в свет одиннадцатого тома Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова завершено многолетний труд советских исследователей, преимущественно ленинградских, по выявлению, изучению и комментированию многогранного научного и собственно литературного наследия ученого-энциклопедиста. Читатель получил возможность обозреть всю громаду творений великого сына русского народа. И это особенно отрадно в преддверии 275-летия со дня рожде-

ния Ломоносова, исполняющегося в 1986 г.

Начиная с первого прижизненного издания «Собрания разных сочинений в стихах и прозе» (1751 г.) и до настоящего времени произведения Ломоносова в том или ином сочетании прозы и поэзии, с той или иной полнотой и степенью научной подготовки издавались около 20 раз.

В первую очередь нужно отметить академический восьмитомник 1891—1898 гг., ставший давно уже раритетом и явившийся предшественником современного Полного собрания сочинений (ПСС).

Стоит вспомнить также, что петербургский книгоиздатель А. Ф. Маркс, столь много сделавший на поприще просветительства, вняв советам друзей, в том числе И. Д. Сытина, в конце прошлого века приступил к выпуску ежемесячных приложений к массовому журналу «Нива», содержащих произведения русских классиков. Эта серия открылась, что делает честь издателю, вышедшими в 1893 г. «Сочинениями М. В. Ломоносова в стихах» под редакцией Арс. И. Введенского.

У колыбели последнего издания стояли С. И. Вавилов, Т. П. Кравец и А. А. Елисеев. Тома I—X были изданы в 1950—1959 гг. Спустя почти четверть века появился рецензируемый том — «дополнительный, справочный», включающий 4 письма, 7 переводов, 6 стихотворений и указатели.

За отмеченный немалый срок советскими и зарубежными учеными атрибутированы «новые» материалы, относящиеся к научно-литературному и эпистолярному творчеству Ломоносова, которые ранее частично были опубликованы в различных изданиях. Примечательно письмо к известному натуралисту,

участнику Второй камчатской экспедиции И. Г. Гмелину, датированное 1 октября 1748 г. М. В. Ломоносов возмущается тем, что, уехав в Германию в отпуск, Гмелин не сдержал слова и отказался вернуться в Петербург к месту своей службы, чем подвел поручителей — Ломоносова и Г. Ф. Миллера. Из письма от 4 декабря 1740 г., адресованного немецкому аптекарю Д. Ф. Михаэлису, мы узнаем, что Ломоносов начал производить химические опыты не в 1744 г., как это считалось до последнего времени, а в 1739, еще в Германии.

Составители правильно поступили, опубликовав ломоносовские переводы с немецкого технических статей академика Г. Ф. Крафта, основателя Физического кабинета Академии наук, имевшего исключительное значение в становлении физических наук в России. Эти переводы печатались в «Примечаниях к ведомостям», выходивших в 1728—1742 гг., первом в стране научно-популярном журнале Академии наук. Популяризация техники и внедрение в практику ее достижений стали в ту пору настоятельной потребностью русского государства. Ломоносов с первых же лет своей научной деятельности способствовал этому делу. Переводя реферативную статью Крафта, в основу которой была положена книга французского автора (Галлон. Машины и изобретения, одобренные Парижской Академией наук. Париж, 1735 г.), Ломоносов на ходу создавал соответствующую русскую научно-техническую терминологию.

Россия первой половины XVIII в. нуждалась в литературе по ведению и интенсификации сельского хозяйства. Помещики старались перенять немецкий опыт. В 1747 г. кабинет-секретарь И. А. Черкасов поручил Ло-

моносову перевести с немецкого вышедшую в Риге в 1688 г. и выдержавшую три переиздания книгу С. Губертуса «Экономическая стратегема, или Изучающим земледелие, в изложении для необходимого изучения молодых неопытных землевладельцев в Лифляндии...» Ломоносов незамедлительно выполнил заказ, однако перевод напечатан не был. Сохранилось два экземпляра писарской копии с заголовком: «Лифляндская экономия. Переведена с немецкого на российский химии профессором Михаилом Ломоносовым в Санктпетербурге 1747 года; с подлинной списана в 1760 году из дому господ баронов Черкассовых». Русский перевод этой своеобразной сельскохозяйственной энциклопедии, долго пользовавшейся успехом, распространялся в списках. Впервые он опубликован в рецензируемом томе. Читать это сочинение и по сей день небесполезно.

Талант Ломоносова как переводчика научной литературы ярче всего проявился, пожалуй, в переложении с латинского посвятительного письма Л. Эйлера к президенту Академии наук К. Г. Разумовскому. В этом многостраничном письме Эйлер изложил свой капитальный труд «Морская наука» («Scientia navalis»), рукопись которого была начата в Петербурге, а закончена в Берлине. По просьбе автора, не без оснований сомневавшегося в достаточных познаниях берлинских печатников в латыни, «Морская наука» вместе с письмом была безупречно издана в русской столице в 1749 г. Корректуру сочинения великого математика держал выдающийся наш физик академик Г. В. Рихман. Несколько экземпляров «Морской науки» были выпущены в одном переплете с русским переводом посвятительного письма, сделанным Ломоносовым по заказу его академического начальства.

Помещенные в рецензируемой книге стихотворения под грифом «приписываемое М. В. Ломоносову», в их числе и переводные, любопытны как отклики на некоторые исторические события 40—60-х годов XVIII в.

Вошедший в рецензируе-

мую книгу справочный аппарат ко всем десяти основным томам ПСС послужит прекрасным путеводителем для тех, кто пожелает обратиться к изучению наследия Ломоносова. Особую ценность имеет подробнейший предметный указатель (с. 243—334), который можно рассматривать как первый шаг к составлению словаря языка замечательного ученого и писателя.

## Как родились галактики!

**Ю. Н. Ефремов,**  
доктор физико-математических наук

**В. Г. Сурдин,**  
кандидат физико-математических наук  
Москва



Л. Э. Гуревич, А. Д. Чернин. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГАЛАКТИК И ЗВЕЗД. М.: Наука, 1983, 190 с.

Почти все видимое во Вселенной вещество сосредоточено в звездах, которые собраны в гигантские системы — галактики. Как образовалась такая структу-

ра Вселенной и составляющие ее объекты — проблема проблем астрономии. О последних достижениях в ее решении и рассказывается в книге известных ленинградских астрофизиков-теоретиков — Л. Э. Гуревича и А. Д. Чернина.

Относительно происхождения и развития звезд у астрономов, за единичными исключениями, существует общее согласие. В отношении же галактик дело обстоит совсем иначе. Какова природа спиральных рукавов галактик? Как образуются их ядра? Какова природа невидимой массы в короне галактик, проявляющей себя только гравитационно? Почему одни галактики вращаются со скоростью в сотни километров в секунду, а другие не вращаются совсем? Почему галактики собраны в скопления, а те, в свою очередь, в еще более грандиозные системы — сверхскопления? В конце концов, почему вообще существуют галактики? Ведь у нас есть доказательство того, что в догалактическую эпоху вещество во Вселенной было распределено чрезвычайно равномерно: об этом свидетельствует однородность реликтового излучения. Когда же и по какой причине вещество успело разделиться на гигантские фрагменты — протогалактики? А может быть, этого никогда и не было? Может быть, сначала родились небольшие звездные системы типа шаровых скоплений, которые, слипаясь, постепенно образовали массивные галактики? Общепризнанных ответов на эти вопросы пока нет.

Принципиальная сложность проблемы происхождения галактик послужила причиной того, что книга Л. Э. Гуревича и А. Д. Чернина является едва ли не первой в научно-популярной литературе, специально посвященной этой теме.

После краткого обзора современных представлений о строении Вселенной авторы переходят к вопросу о происхождении флуктуаций плотности на ранних стадиях расширения Вселенной, которые затем и дали начало галактикам. «Поиски подождут к его решению», — пишут Л. Э. Гуревич и А. Д. Чернин, — ведутся сейчас на основе новейших идей, объединяющих пред-

ставления общей теории относительности и квантовой теории» (с. 37). А это означает, что именно здесь, на этом «участке» рождается новая единая наука — подлинная астрофизика, в которой проблемы астрономии и физики элементарных частиц слились в неразрывное целое. Эта новая астрофизика существенно отличается от прежней, где роль физики заключалась лишь в том, что ее методы и результаты использовались для решения астрономических задач.

Каждая из существующих сейчас теорий происхождения галактик имеет свои трудности. Согласно так называемой адиабатической теории, те небольшие флуктуации плотности в молодой Вселенной, которые привели к образованию галактик, затрагивали и вещество, и излучение. В соответствии с другой теорией, получившей название энтропийной, эти флуктуации касались только вещества, а во время как излучение было распределено равномерно. Сторонники же вихревой теории, в число которых входят и авторы книги, уверены, что фундаментальнейшим свойством всех галактик является их вращение, а значит и первичная, догалактическая среда должна содержать вращающиеся элементы материи — вихри.

Защитники каждой из трех теорий уже многие годы искусно выявляют недостатки в рассуждениях своих соперников и, со своей стороны, стараются учесть критические замечания в свой адрес. Под напором новых наблюдательных фактов каждая из теорий образования галактик уточняется, и, ко всеобщему удовлетворению, они начинают частично сливаться друг с другом.

Развиваемая авторами книги картина происхождения вращения галактик обладает привлекательными особенностями. Прежде всего, это отсутствие необходимости в привлечении каких-то специальных предположений. «Те самые движения, которые создают крупномасштабные сгущения — облака метagalактической среды, порождают и внутренние турбулентные вихри в слоях — протоскоплениях» (с. 94), — пишут Л. Э. Гуревич и А. Д. Чернин. На этом пути

они находят и объяснение замечательной корреляции, на важность которой для космогонии галактик уже давно указывалось: в сферических богатых скоплениях галактик преобладают эллиптические галактики, вращение звезд в которых медленное и неупорядоченное; в более хаотических и бедных скоплениях преобладают спиральные галактики.

Спиральной структурой, как подчеркивают авторы, обладают быстро вращающиеся галактики (правда, указание на то, что спиральные галактики составляют 70 % от «общего числа видимых галактик», справедливо, только если «видимые» заменить на «большой светимости», ибо среди карликов преобладают эллиптические и неправильные галактики), и во вращающейся гравитирующей среде слабое возмущение должно распространяться в виде спиральной волны. Поскольку при столкновении газа галактики со спиральным рукавом плотность газа повышается, именно в рукавах сосредоточены очаги образования звезд и молодые звезды высокой светимости. Если скорость встречи газа с рукавом больше скорости звука, возникает ударная волна и образование звезд идет особенно эффективно. Заметим, что за фронтом спиральной ударной волны может измениться и скорость вращения газовых облаков, подобно тому как, согласно развиваемой авторами теории, возникает вращение протогалактик. От скорости вращения облака сильно зависит интенсивность происходящего в нем образования звезд.

Далее в книге излагаются современные представления о рождении и эволюции звезд. Концентрация молодых звезд в группировках разного масштаба, от скоплений и ассоциаций до комплексов с размерами в сотни парсек (в последнее время выясняется, что молодые скопления и ассоциации являются частями звездных комплексов), объясняется конденсацией газа и пыли в облака разного масштаба. Сжатие этих облаков, которому часто способствует повышение внешнего давления (например, при попадании в спиральную волну плотности), приводит к их каскадной фрагмен-

тации на протозвезды, и этот процесс находит не только теоретическое объяснение на основе идеи гравитационной неустойчивости диффузной среды, но и наблюдательные подтверждения, прежде всего при наблюдении плотных и холодных молекулярных облаков в радиодиапазоне.

Один из авторов книги, Л. Э. Гуревич, был среди первых теоретиков, исследовавших процесс образования звезд из диффузной среды: совместно с А. И. Лебединским он выполнил еще в 50-х годах ряд фундаментальных работ о происхождении звезд, в которых, в частности, было показано, что их образование может охватывать облака с размерами в сотни парсек — идея, созвучная современным представлениям о звездных комплексах. В связи с этим приходится пожалеть, что образование и эволюция звездных группировок описаны в книге слишком бегло — скоплениям уделено всего три страницы.

В заключительной главе авторы вновь возвращаются к космологии. Они обсуждают проблему скрытой массы в скоплениях галактик. В последние годы стало ясно, что высокие скорости галактик в скоплениях объясняются не нестабильностью скоплений, а наличием в них огромной массы невидимого вещества, которым, скорее всего, является нейтрино, имеющее, как следует из экспериментов московских физиков, массу покоя. Проблема массы покоя нейтрино одинаково важна для физики и космологии, хотя «важнейшие результаты теории образования галактик, полученные ранее, целиком остаются в силе и в новой картине мира. В сгущениях-протоскоплениях и в этом случае эффективно действуют газодинамические механизмы, создающие в среде завихренность, формирующие вращающиеся сгустки газа, способные превратиться в спиральные галактики» (с. 175), — пишут Л. Э. Гуревич и А. Д. Чернин. Ячейчатая структура, образуемая скоплениями галактик, начинает выявляться в наблюдательных данных, как это ожидалось в теории образования протоскоплений, создаваемой

Я. Б. Зельдовичем и его сотрудниками.

Л. Э. Гуревич и А. Д. Чернин сумели действительно доступно и на уровне самых последних достижений науки рассказать об исключительно сложных проблемах, решение которых является, может быть, предельной задачей естествознания. Ибо они абсолютно правы, ког-

да пишут, что «скорее всего, прохождение первоначальных возмущений (порождающих галактики.— Ю. Е., В. С.) обязано тем же процессам, которые вызвали и само космологическое расширение; об этом, однако, мы еще слишком мало знаем» (с. 37).

Эта прекрасная книга, к сожалению, издана на плохой

бумаге, от чего сильно пострадало качество большинства иллюстраций. Это общий недостаток многих научно-популярных книг по астрономии. А ведь так хотелось бы, чтобы прекрасный мир звезд, туманностей и галактик могли увидеть не только специалисты!

## НОВЫЕ КНИГИ

### Физика

Роман Подольный. НЕЧТО ПО ИМЕНИ НИЧТО. М.: Знание, сер. «Жизнь замечательных идей», 1983, 192 с., ц. 65 к.

В современной физике нет единого и устоявшегося понимания вакуума. По наиболее распространенному, квантово-полевому определению, это наименьшее энергетическое состояние материальных полей, характеризующееся нулевым значением квантовых чисел и отсутствием реальных частиц. Помимо этого, существуют гипотетические модели, которые частично перекрываются, а в ряде фундаментальных черт резко расходятся. Не вызывает споров лишь то, что физический вакуум, сменяющий своих предшественников — абсолютную пустоту и классический эфир — является фундаментальным физическим объектом, во многом определяющим свойства микро-, макро- и мегаприроды.

Научно-художественная книга журналиста Романа Подольного повествует, говоря его словами, о «ходе и закономерности развития человеческой мысли, обращенной к проблеме пустоты — эфира — вакуума; о принципиальных различиях в решении этой проблемы на протяжении истории; о выводах науки, основанных на экспери-

ментах и расчетах, наконец, о человеческой стороне в познании физической реальности».

Кроме того, автор пытается, что особенно важно, рассказать доступным, образным языком о новейших достижениях физики в изучении структуры и динамики физического вакуума. При этом абстрактность математических выводов только еще создающейся теории вакуума и невозможность наглядно представить себе многие физические построения заставляют автора прибегать к сложной системе аналогий, вводить в повествование различные «дополнительные» сюжеты, взятые из литературы и из жизни.

### Физика

Ю. А. Храмов. БИОГРАФИЯ ФИЗИКИ (хронологический справочник). Отв. ред. А. Г. Ситенко. Киев: Техника, 1983, 344 с., ц. 1 р. 70 к.

Здесь названы наиболее существенные события из истории физики: кто и когда сделал то или иное открытие, изобретение, сформулировал закон или принцип, выдвинул идею или разработал теорию. В этой своеобразной летописи в хронологическом порядке — от древней-

ших времен до наших дней — упомянуто свыше 4000 фактов, кратко раскрыты их смысл и значение для последующего развития физики. Автор сделал попытку систематизировать эти факты: хронологические справки объединены в рамках определенной схемы периодизации, что позволяет проследить развитие физических знаний, эволюцию той или иной идеи. Дается также краткая характеристика основных этапов в развитии физики.

Справочник адресован научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям высших и средних учебных заведений, студентам.

### География

А. Коваленко. ТАЙНА «ДЬЯВОЛЬСКОГО» КАМНЯ. Рец. А. В. Шумилов. М.: Мысль, 1983, 103 с., ц. 25 к.

«Известно, что никакие изобретения человеческого искусства не приносили большей пользы человеческому роду, чем этот компас», — эти слова У. Гильберта, английского физика XVI в., разработавшего первую теорию магнитных явлений, автор использовал в качестве эпиграфа к своей книге. 12 ве

главок — от первой «Ремесло древних кормчих» до последней «Магнитная стрелка управляет спутником» — это несколько живо написанных рассказов о естественных магнитах, о магнитном компасе, о многовековом пути «инструментика малого», благодаря которому был открыт по существу весь земной шар, о легендах и былях, связанных с этим «волшебным» указателем.

#### Океанология

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ СУДНО «ВИТЯЗЬ» И ЕГО ЭКСПЕДИЦИИ (1949—1979 гг.). М.: Наука, 1983, 402 с., ц. 6 р. 30 к.

«Эпохой Витязя» в океанологии называют 65 экспедиций, совершенных на этом крупнейшем в мире научно-исследовательском судне, специально оборудованном для комплексных работ в Мировом океане. История этих экспедиций освещена в коллективной монографии, написанной участниками многих рейсов. В книге рассказано о создании судна и его научного коллектива, об организации работ в экспедициях, о всех рейсах и проведенных в них научных исследованиях, об открытии подводных гор и течений. Специальный большой раздел посвящен ранее неизвестным науке растениям и животным, описанным по материалам «Витязя». Хотя обработка коллекций далеко не закончена, уже сейчас описано более 1100 новых видов, около 170 новых таксонов родового ранга, более 25 новых таксонов ранга семейства, отряда и еще более высоких категорий, вплоть до нового типа.

Книга содержит список основных публикаций, освещающих результаты выполненных на «Витязе» исследований. Рассчитана на широкий круг специалистов в различных областях исследования океана, на преподавателей и студентов вузов.

#### История науки

В. А. Никифоровский. ВЕЛИКИЕ МАТЕМАТИКИ БЕРНУЛЛИ. Отв. ред. А. Т. Григорьян. М.: Наука, 1984, 180 с., ц. 60 к.

История науки и культуры знает немало случаев, когда одно и то же дарование передается в семье из поколения в поколение. Достаточно вспомнить об астрономах Кассини, композиторах Штраусах, крепостных архитекторах и живописцах Аргуновых и др. Из подобных семей наиболее выдающейся можно считать семью Бернулли, род которых дал миру девять крупных математиков, из них трех — великих; братьев Якоба (1654—1705) и Иоганна (1667—1748) и сына Иоганна — Даниила (1700—1782).

Жизни и деятельности этих замечательных ученых, вкладу их в различные разделы математики (классический анализ, теорию вероятностей, вариационное исчисление и др.) посвящена эта книга.

В своем предисловии автор замечает, что при работе над книгой он старался руководствоваться советом Б. Паскаля: «Предмет математики настолько серьезен, что полезно не упускать случая сделать его немного занимательным».

#### История культуры

ВИДНЫЕ ДЕЯТЕЛИ АРМЯНСКОЙ КУЛЬТУРЫ. Ред. Г. Х. Саркисян. Ереван: Изд-во Ереванского университета, 1982, 475 с.

Такое важное для истории армянского народа событие, как обретение им письменности, связано с именем Месропа Маштоца, который в середине V в. создал оригинальный, почти не изменившийся до нашего времени алфавит. Неудивительно поэтому, что жизнеописанием Маштоца и начинается эта книга.

Герои сборника в большинстве своем гуманитарии, как, например, летописец Фавстос Бузанд, автор классической «Истории Армении» Мовсес Хорена-

ци, правовед Мхитар Гош, выдающийся историк и языковед XVIII в. Микаэл Чамчян, поэты-гуманисты Григор Нарекаци, Фрик, Напет Кучак, Саят-Нова, всех не перечислить. Среди философов ведущее место принадлежит неоплатоннику Давиду Анахту, который сыграл «выдающуюся» роль в развитии философской науки древней и средневековой Армении и оставил определенный след в истории философской мысли соседних народов».

Выдающимся явлением армянской культуры VII в. был ученый-энциклопедист Аниая Ширакаци, астрономические представления которого значительно опережали его эпоху, а его труды по земледелию и метеорологии заложили основы естествознания в его стране. В свое время получила известность «География» Вардана Арелвелци (XIII в.). Достаточно места уделено в книге культурно-просветительскому движению в Киликийской Армении (на юге современной Центральной Турции). В Киликии процветали живопись (миниатюра), скульптура, архитектура.

Интерес вызывает деятельность Акопа Мегартта, который в 1513 г. в Венеции выпустил армянскую первопечатную книгу («Апостол» И. Федорова был напечатан в Москве на полвека позже).

Книга завершается очерками о деятелях XVIII в., в том числе биографией Арутюна Шмавоняна, заботами которого в 1794 г. в индийском городе Мадрасе вышел в свет перенец армянской периодической печати — первый номер журнала «Аздарар».

## Невероятная история: открытие вечного движения

Т. Редже

В издательстве «Мир» готовится к публикации книга «Этюды о Вселенной», написанная в жанре научно-популярной литературы. Ее автор — известный итальянский физик-теоретик Тулио Редже, сделавший большой вклад в науку о сильных взаимодействиях. «Распространение научных знаний,— считает Т. Редже,— ...серьезное дело, которое требует полной отдачи, заставляет идти на нелегкие компромиссы. Оно сильно отличается от исследовательской работы, хотя и сосуществует с ней, отнюдь не являясь ее простым придатком... Это деятельность, которая обогащает личность и открывает ей новые горизонты...»

\* Regge T. Cronache dell'Universo. Milano, 1981.

В занимательной книге Артура Орд-Хьюма «Вечное движение»<sup>1</sup> рассказывает об истории идеи вечного движения и о том, как в течение столетий целые толпы непризнанных изобретателей были одержимы мыслями о постройке вечного двигателя. Бессмысленно в таких случаях апеллировать к закону сохранения энергии: великие «запреты» физики никогда не вызвали симпатий. Так же бессмысленно говорить людям, что играющие в лотерею обязательно в среднем должны проигрывать и что государство зарабатывает на этом большие деньги. Все равно мы будем встречать изобретателей, уверенных в близости окончательного реше-

ния, и рассерженных игроков, убежденных в том, что сумеют выиграть, используя самый последний вариант некоей «математической» системы. Я сам встречал трех «вечных» фантазеров, с другими общались знакомые мне журналисты. Как правило, обычно речь идет о механизмах, использующих те или иные виды эксцентриков. Орфиреус, настоящее имя которого было Иоганн Эрнст Элиас Бесслер (1680—1745), даже построил вечный двигатель, с одинаковой легкостью вводивший в заблуждение королей, князей, помещиков и профессоров, среди которых, в частности, был профессор Гравезанд из Лейдена, в хвалебных тонах написавший о двигателе Ньютону. Однако машина Орфиреуса была разрушена.

В книге Орд-Хьюма перед нами проходит забавная галерея мошенников и изобличенных

Книга Редже многообразна: теория относительности и космология, астрофизика и Солнечная система, основные положения современной физики, сверхтекучесть и сверхпроводимость — все эти темы нашли отражение на страницах книги. Одна из глав называется «Портреты ученых». Это краткие очерки о Г. Галилее, Дж. Максвелле, А. Эйнштейне и К. Гёделе.

Мы печатаем завершающую главу книги Т. Редже. Это фантастический рассказ, в котором с мягким юмором описывается положение представителей точных наук в мире некомпетентных журналистов, военных и жадной до сенсаций публики в условиях Запада.

Предисловие к русскому изданию книги написано академиком Б. М. Понтекорво.

изобретателей, погубленных своей одержимостью.

Вечным движением первого рода считается такой процесс, в котором нарушается закон сохранения энергии. Иными словами, с помощью такого движения можно получить нечто из ничего. Менее известным представляется вечное движение второго рода, нарушающее второе начало термодинамики. Это столь же невозможно, как и нарушение закона сохранения энергии, хотя здесь теория труднее для понимания.

Вечное движение второго рода стало бы возможным, если бы все тепло в металлическом стержне могло внезапно перейти в один раскаленный стержень при этом конец, оставив другой конец стержня совсем холодным. В таком случае в середину стержня можно было бы поместить тепловую машину (па-

<sup>1</sup> Орд-Хьюм А. Вечное движение. История одной нелепой идеи. М., 1980.

ровую турбину). Аналогичным образом можно было бы извлекать огромное количество энергии, содержащееся в морях, всякий раз, когда в воде спонтанно создавалась бы разность температур. Мы в действительности размышляем, как использовать скачок температур между теплой водой в приповерхностном слое и холодной водой глубин для создания больших электростанций. Но никаким образом нельзя преодолеть термодинамические ограничения, накладываемые на коэффициент полезного действия, который становится равным нулю, как только температура повсюду выравнивается. Напротив, движение второго рода означало бы, что можно извлекать, а всю энергию из моря или из других жидкостей независимо от распределения температур в них.

Эти претензии производят менее тягостное впечатление, чем прямолинейное производство энергии из ничего, но они столь же неприемлемы. Теплота представляет собой беспорядочную энергию хаотического движения атомов. Для практических же применений требуется упорядоченная энергия, создаваемая атомами колеса или поршня, перемещающимися вместе в одном направлении или, во всяком случае, движение которых взаимосвязано. Невозможно себе представить, чтобы энергия беспорядочного движения могла бы вдруг превратиться в энергию упорядоченного механического движения: энтропия, т. е. беспорядок, всегда растет. Это неоспоримый экспериментальный факт, получивший теоретическое обоснование в виде так называемой *H*-теоремы Больцмана, от изложения которой мы забываем читателей. Речь идет об очередном «запрете», хотя и менее жестком, но также вызвавшем замечания критиков.

Из изобретателей вечного двигателя второго рода мы упомянем Гэмджи, которым в конце прошлого столетия заинтересовался не кто иной, как главный инженер военно-морского департамента США. На этом я закончу краткий обзор вечного движения. Прошу только кандидатов в изобретатели не обращаться ко мне для получе-

ния оценки своей деятельности<sup>2</sup>. Рассказ-дневник, приведенный ниже, представляет о том психологическом ударе, который был бы нанесен физикам, если бы вечный двигатель действительно был построен путем усовершенствования какого-нибудь из традиционных устройств.

**15 февраля.** Пошел в Культурный центр, чтобы рассказать о физике высоких энергий. Уровень аудитории не позволял вдаваться в технические подробности. В конце, как всегда, вскочил этот зануда Сантедду, который заявил, что он «почти» построил вечный двигатель и что всю физику необходимо пересмотреть. Я ему вежливо ответил, что, по моему мнению, он ошибается. Тут он начал кричать, что я его считаю идиотом, но что мы еще увидим, на что он способен. Биануччи, пытавшемуся его успокоить, пришла в голову блестящая мысль передать слово Куаротти, философу старой гвардии. К сожалению, результат оказался плачевным. Куаротти начал свою речь с того, что, мол, любые научные результаты должны тщательно обсуждаться философами, прежде чем их можно будет считать установленными. Затем последовала длинная нудная проповедь, в которой он обвинял нас, физиков, в пренебрежении духовными ценностями. Жалкий шут! В конце концов, Сантедду, поняв, что ему больше не удастся выступить в разговор, вышел, выкрикивая угрозы. Признаться, его фанатичный взгляд привел меня в ужас.

**20 февраля.** Продолжаю получать письма от Сантедду, в которых он заявляет, что получил сенсационные результаты. Все это меня беспокоит, общий наглый тон писем колеблется между фанатизмом и торжеством. Сантедду нападает на физику и на закон сохранения энергии, повинный в ограничении свободы личности. Он объединяет утверждения, взятые напрокат у Куаротти, и оскорбления типа «...вы ровным счетом

ничего не поняли в моих открытиях и умрете, так ничего и не поняв...» Нет недостатка и в угрозах в духе мафии («о вас я вспомню в подходящий момент...»). Я очень надеюсь, что он действительно уйдет с головой в процесс изготовления двигателя и тогда окажется в одной компании со всеми сумасшедшими, которые уже в течение многих веков бьются над его созданием.

**3 марта.** Встретил Куаротти в коридоре университета. Он со мной поздоровался холодно: наверно, сознает, что я его считаю шутом, и притом недооцениваем. Он произнес странную речь, в которой призывал меня обратиться пристальное внимание на Сантедду, причем говорил раздраженным тоном философа, умудренного и знающего больше других о том, что творится в мире. Неужели есть связь между Куаротти и Сантедду? У меня зародилось подозрение. В своих письмах Сантедду, бывший пастух с Сардинии, бывший механик фирмы «ФИАТ», а ныне владелец пиццерии на одной из центральных улиц города, непрерывно цитирует Гегеля и Хайдеггера. Я начинаю думать, что это Куаротти вскружил ему голову.

**15 марта.** В «Вечерней газете» появилось интервью с Сантедду, в котором он заявляет, что создал вечный двигатель. Меня это вывело из себя, и я принес газету в институт и показал коллегам. Мы решили написать главному редактору, что не следовало бы попадаться в столь неприкрытые ловушки.

**20 марта.** Главный редактор «Вечерней газеты» ответил нам письмом общего характера, в котором, хотя и в деликатной форме, обвинил нас в том, что мы недостаточно доброжелательно относимся к новым идеям. По существу он утверждал, если я его правильно понял, что мы, ученые, отворачиваемся от окружающей действительности. В то время как мы, обескураженные, обсуждали письмо, Бонаццола принес еще один номер «Вечерки». На третьей странице опубликована длинная статья Куаротти, в которой он жалуется на то, что «неприкасаемые» подвергаются остракизму со стороны официальной

<sup>2</sup> Редакция «Природы» также присоединяется к просьбе автора.

науки. Совсем некстати стоят рядом имена Сантедду и Галуа. Ученых он обвиняет в нескромности. Весьма прозрачны намеки лично на меня. Друзья меня успокаивают и утешают. На самом деле я взбешен. Мне казалось, что после тридцати лет работы я имею право на более уважительное отношение к своей особе.

**21 марта.** Веццолли, журналист из «Вечерней газеты», позвонил мне и пригласил посетить публичную демонстрацию вечного двигателя Сантедду. Я ответил, что не могу принимать участия в подобном представлении, но Веццолли продолжал настаивать и обещал, что все мои высказывания будут полностью напечатаны. Я ему предложил пригласить Куаротти. Это было ошибкой: Куаротти уже принял приглашение и, более того, собирается выступить с философским вступлением по поводу изобретения. Итак, я отклоняю приглашение и вешаю трубку. Через десять минут звонит ректор и умоляет меня пойти на демонстрацию двигателя. Я ошеломлен. Ректор явно смущен и в тщательно подобранных объективных выражениях дает мне понять, что в «открытии» заинтересованы военные. Я вдруг вспоминаю, что брат Куаротти — генерал-авиации. Поддаюсь давлению: если военные уж очень хотят сыграть эту жалкую роль — это их дело; ладно уж, пойду на демонстрацию. Но надо быть осторожным.

**24 марта.** Я разбит. Вступление Сантедду было ошеломляющим. Все происходило в огромной комнате на телевидении в присутствии стаи журналистов, фотографов, полицейских и военных, как в штатском, так и в форме. Присутствовала и очаровательная блондинка — ведущая передачи. Все взмокли под лучами мощных юпитеров. «Машина» Сантедду, закрытая занавеской, находилась на маленькой сцене в центре зала. Я взял с собой Трикоми: он умеет мгновенно разгадывать любые фокусы. Куаротти говорил полчаса, предвещая новую эру в науке; он заявил, что произошло «историческое событие». Затем торжественный Сантедду начал в подражание Куаротти употреблять

всякие слова, причем и те, значение да и произношение которых он не вполне усвоил.

Я только было собрался уйти с этой надоевшей клоунады, как Сантедду развязал узел, полотнище сползло и открыло машину Архимеда Пифагорейского — сложнейшего вида разборное колесо, снабженное спицами с большими металлическими шарами на концах. Сантедду дал толчок, и адская игрушка с оглушительным грохотом пришла в движение, все ускоряясь, пока мне не стало казаться, что она вот-вот развалится. Я сильно побледнел, и этим воспользовались присутствующие фотографы. Я так и был сфотографирован с выражением крайнего смущения на лице.

Генерал Куаротти оставался невозмутимым. Трикоми, воспользовавшись суматохой, стал с любопытством осматривать машину, заглядывая под пьедестал и трогая кабели, лежащие на полу. Вдруг в одном из них произошел пробой, мы увидели спол искр, после чего оказались в кромешной темноте. Сантедду начал кричать о саботаже. Куаротти, столкнувшись с полицейскими, упал прямо на машину. Когда, наконец, вновь зажглось освещение, Куаротти лежал на полу мертвенно бледный, а машина продолжала крутиться с невообразимым шумом. Пока я пытался ответить на вопрос какого-то журналиста, Сантедду, едва удерживаемый карабинером, пытался на меня напасть. Трикоми уже исчез, да и я постарался убраться как можно скорее.

**25 марта.** Газеты вышли со статьями, восхваляющими открытие Сантедду. Не обошлось и без низкопробной историко-философской стряпни Куаротти; на этот раз он вытасил даже «психизм» материи. На снимке я изображен с закрытыми глазами и раскрытым от изумления ртом. Под фотографией подпись: «Физике пришел конец, ядерные ученые смиряются. Будет ли закрыт ЦЕРН?». Я схватил телефон и стал искать иллюзиониста Джека Ребби, как раз в эти дни находившегося в Риме. Мне удалось найти его с помощью своих друзей в американском посольстве. Джек ничего не знает о вечном движе-

нии. Я ему объяснил, что он должен приехать в Турин, чтобы развенчать одного мошенника, но убедить его до конца мне не удалось. Я стал настаивать, что он должен сделать это во имя культуры, истины и т. д. Он мне ответил, что придет лишь в том случае, если речь идет о явлениях, имеющих отношение к парапсихологии, и что вечное движение находится вне его интересов. Я так и не смог сдвинуть его с места.

**27 марта.** Трикоми пришел ко мне на работу с фотографиями, тайно снятыми во время собрания на телевидении. Детали колеса видны совершенно отчетливо. Вызываю Тенконе, начальника мастерских, и прошу его по возможности скорее построить точную копию машины, чего бы это ни стоило. Он дает обещание воспроизвести колесо за несколько дней.

**29 марта.** Я сильно нервничаю в ожидании окончания работы Тенконе. По техническим причинам наше колесо будет тяжелее. После выступления на телевидении военные ввели строжайшую цензуру на все, что касается вечного движения. Из полицейского участка мне сообщили, что впрямь я буду находиться под охраной, чтобы избежать утечки информации.

**30 марта.** Я продолжаю изучать фотографии машины Сантедду. Речь идет о хорошо известном варианте вечного двигателя, имеющем единственный недостаток: он не работает. Спицы на шарнирах должны непрерывно крутиться и опускаться таким образом, чтобы шаров с левой стороны оказывалось больше, чем справа; казалось бы, такое колесо должно прийти в движение. Я говорю «казалось бы», потому что опускающаяся спица неизбежно оказывает на колесо обратное действие, сводящее к нулю весь эффект. Еще немного терпения, и вариант Сантедду тоже окажется ложным. Я уверен, что где-то у него спрятан электромотор.

**1 апреля.** Наконец, после многих дней тревожных, иду в институт успокоенный. Теперь мы разоблачим уловку Сантедду. Тенконе сообщил по телефону, что машина собрана на нижнем этаже. Иду вниз, и ко мне тотчас подходит чрезвычайно



блдный Тенконе. Он делает попытку что-то мне сказать, но его прерывает высокое жужжание, переходящее в настоящий рев. Большой кусок свинца пролетает через мастерскую, серьезно рая Трикоми. Слышится глухой треск ломающегося шкафа. Несколькими минутами я не могу произнести ни слова, мысли путаются в голове, я ошеломлен. Я даже не прихожу на помощь Трикоми, рыдающему на полу. Тенконе в состоянии смятения рассматривает полуразрушенную машину, которая продолжает шевелиться как живая. Я его спрашиваю, не подсоединил ли он электромотор. Придя в себя, он начинает ругать меня за то, что я заставил его заниматься такой опасной машиной.

Неужели вечный двигатель Сантедду все же работает? Сознание этого факта поддействовало на меня как удар молота. Неужели все ошибались: Лагранж, Галилей, Ньютон, Эйнштейн? Я убежал. Должно быть, на мне лица не было.

3 апреля. Уже два дня, как я не прихожу в институт, потому что нет сил преодолеть себя. Цензура военных оказалась бессильной: кто-то продал чертежи «заинтересованным» лицам. Город полон иностранных журналистов. Сантедду, ос-

вобожденный по настойчивому требованию народа и газет, раздает победоносные интервью. Он потребовал Нобелевскую премию и мою кафедру в Турине. Кретин! Он даже не знает, что по уставу меня нельзя ни уволить, ни перевести на другую работу. У меня нет сил включить телевизор. Я не беру в руки газет.

15 апреля. Итак, главным событием дня является изобретение Сантедду. Фирма «ФИАТ» даже собирается установить такие двигатели в автомобилях. Немцы и поляки бранятся между собой, оспаривая приоритет Сантедду. Кто-то утверждает, что вечный двигатель полностью повторяет машину Орфиреуса, то ли немецкого, то ли польского изобретателя восемнадцатого века. Полагают, что его детище случайно оказалось в целости и сохранности, хотя и считалось, что оно уничтожено по приказу герцога Гессенского. Может быть, оригинал Орфиреуса был найден Куаротти, который затем передал его Сантедду? Даже если все произошло именно так, я не нахожу повода для утешения и чувствую себя жалким и ненужным пенсионером. Сантедду претендует на роль величайшего ученого двадцатого века, превзошед-

шего Эйнштейна. От требует закрыть ЦЕРН или превратить его, по крайней мере, в центр по исследованию вечного движения и «психизма» материи.

Решаю прогуляться в одиночестве в городском парке, где встречаю Джузеппе, бывшего служащего, вышедшего на пенсию. Он тут же начинает разговор и спрашивает, доволен ли я новым изобретением. Я отвечаю не сразу. Внезапно нас отвлекает странное зрелище. На поляне в парке поднимается вверх разноцветное облако самолетиков, запущенных стайкой ребятшек. Самолетики издают необычное жужжание. Один из них сталкивается с деревом и падает на землю, продолжая при этом метаться. Я его поднимаю, и мной овладевает горькое чувство. Там, где должен быть винт, я вижу миниатюрную копию колеса Сантедду, выполненную очень остроумным образом в пластмассе. Джузеппе, видя мое лицо, спрашивается о моем здоровье, а я, еле передвигая ноги, удаляюсь. Какая-то дама восторженно комментирует увиденное зрелище. Это действительно конец.

Перевод Дж. Б. Понтекерво.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., ГОГИНОЙ Е. Е., ГИППЕНРЕЙТЕРА В. Е., КАЗАНЦЕВА В. П., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., МУСТАФАЕВА К. Т., ЯБЛОНОВА А. В., ARGUS.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС.

Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.02.84  
Подписано к печати 2.04.84  
Т—03600

Формат 70×100 1/16  
Офсет

Усл. кр.-отт. 1442,9 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,5

Бум. л. 4  
Тираж 53 900 экз. Заказ 594



— 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.

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



В восторженном состоянии сторонников «тектоники плит» много от увлечения первооткрывателей геологического мира океанов. Но кое-что в нем, может быть, и от традиционного предубеждения некоторых представителей точных наук против качественных методов, которыми оперирует классическая историческая геология.

**Белоусов В. В.** О некоторых тенденциях в современных науках о Земле.



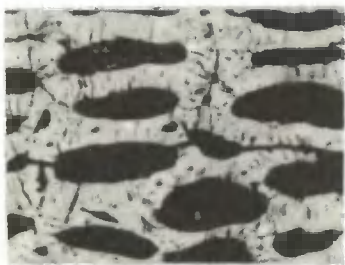
Многие биологические вещества и структуры проявляют свойства, присущие жидким кристаллам. Каким образом особенности жидкокристаллических сред влияют на биологические процессы в норме и при развитии патологии, какова здесь роль линейных дефектов?

**Мицц Р. И., Кононенко Е. В.** Дефекты биологических жидких кристаллов.



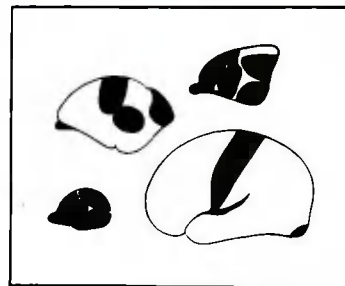
«А завтра снова опыты, «покой нам только снится», и есть в этом что-то притягательное, особенно когда делом управляет человек, несущий в себе неисчерпаемый и вдохновляющий заряд бодрости и энтузиазма, мужественно и упорно сражающийся с труднейшей проблемой века».

**«...ЖИТЬ И НЕ ТВОРИТЬ ОН ПРОСТО НЕ МОЖЕТ».**  
К 90-летию П. Л. Капицы.



Метод ионного травления позволяет выявить микроскопические структуры палеозойских растений, а в будущем — исследовать происхождение других ископаемых видов органического вещества земной коры.

**Кизильштейн Л. Я., Шпицглюз А. Л.** Под микроскопом — клеточные структуры палеозойских растений.



Изучение эволюционно молодой структуры мозга — лобной коры — позволит ближе подойти к пониманию сложных механизмов организации личности человека.

**Урываев Ю. В., Рылов А. Л.** Юный мозг и личность.

Цена 80 коп.

Индекс 70701

