

ISSN 0032-874X

# 2 1979 ПРИРОДА



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук  
А. Г. БАННИКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Академик  
А. И. БЕРГ

Академик  
Ю. В. БРОМЛЕЙ

Доктор биологических наук  
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
В. М. ГАЛИЦКИЙ

Заместитель главного редактора  
В. А. ГОНЧАРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Б. Н. ДЕЛОНЕ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Л. КРЕТОВИЧ

Академик  
К. К. МАРКОВ

Доктор философских наук  
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора  
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Академик  
Н. В. ЦИЦИН

Доктор географических наук  
Л. А. ЧУБУКОВ

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук  
А. В. ЯБЛОКОВ

**На первой странице обложки.** Фонтаны раскаленного шлака и бомб стремительно нарастают вулканический конус. См. статью А. И. Цюрупы «Вулкан ночью».

Фото И. В. Вайнштейна

**На третьей странице обложки.** Русский посланник при испанском дворе Иван Матвеевич Муравьев-Апостол со старшей дочерью Елизаветой у портрета отца. Работа художника Ж.-Л. Монье. Стараниями И. М. Муравьева-Апостола в России впервые был опубликован труд химика Ж. Л. Пруста о производстве сахара из винограда. См. статью З. Е. Гельмана «Об одном сочинении касательно «приготовления сахара из виноградных ягод».

**На четвертой странице обложки.** Ручная серебристо-черная лисица экспериментальной популяции. См. статью Д. К. Беляева «Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при domestикации животных».

Фото В. А. Прасолова

Редакция рукописей не возвращает.

© Издательство «Наука»,  
«Природа», 1979 г.

## В НОМЕРЕ

|   |  |
|---|--|
| Тулинов А. Ф., Чеченин Н. Г.<br>Каналирование заряженных частиц   | 2  |
| Солоненко В. П.<br>Прогноз землетрясений — желаемое и достигнутое   | 13   |
| Кадомцев Б. Б.<br>Физика токамаков. К 70-летию со дня рождения Л. А. Арцимовича                                     | 21   |
| Федоров К. Н.<br>Видимые и невидимые границы в океане   | 28   |
| Беляев Д. К.<br>Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при доместикации животных                           | 36   |
| Тыминский В. Г.<br>Геохимические предвестники землетрясения   | 46   |
| Тамразян Г. П., Овнатанов С. Т.<br>Особенности распределения газовых ресурсов Земли                                 | 48   |
| Цюрупа А. И.<br>Вулкан ночью  | 53   |
| Хохлов А. М., Солодько А. С.<br>Кавказский биосферный заповедник и проблемы охраны природы северо-западного Кавказа | 58   |
| Фигуровский Н. А.<br>У истоков современной химии. К 200-летию со дня рождения Ж. Л. Гей-Люссака                     | 70   |
| Ринкевичюс Б. С.<br>Лазер измеряет скорость   | 76   |
| Шелищ П. Б.<br>Родоначалник социального исследования науки  | 90   |
| ЗАМЕТКИ,<br>НАБЛЮДЕНИЯ  | Гомелюк В. Е. Некоторые особенности поведения трехиглой колюшки в период размножения (96). Шевченко В. Л. Мас-совый залет саджи в Волго-Уральское междуречье (97). Пин-чук В. И. Быстрое изменение окраски полосатого трехзубого бычка (98). |
| НОВОСТИ НАУКИ   | 57, 100  |
| РЕЦЕНЗИИ  | Каганов М. И. Об одном из ярчайших физиков XX века (120). Баландин Р. К. Наперекор стихиям (122).  |
| НОВЫЕ КНИГИ   | 123  |
| В КОНЦЕ<br>НОМЕРА   | Гельман Э. Е.<br>Об одном сочинении касательно «приготовления сахару из виноградных ягод», пропавшем и обретенном вновь 126  |

## Каналирование заряженных частиц

А. Ф. Тулинов, Н. Г. Чеченин



Анатолий Филиппович Тулинов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики атомного ядра физического факультета МГУ и начальник отдела физики ядра Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ. Занимается физикой атомного ядра и ядерных реакций, взаимодействием излучений с веществом. Лауреат Государственной премии 1972 года и Ломоносовской премии МГУ I степени 1967 года. В «Природе» опубликовал (совместно с Ю. В. Меликовым) статью «Ядерные столкновения и кристаллы» (1974, № 10).



Николай Гаврилович Чеченин, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник отдела физики атомного ядра Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ. Занимается изучением ядерных реакций, физикой деления ядра и взаимодействием частиц с монокристаллами.

Прохождение заряженных частиц через вещество сопровождается большим количеством разнообразных явлений. К ним относятся как чисто ядерные процессы, типичным примером которых могут служить ядерные реакции, так и многочисленные атомные явления: упругое рассеяние, возбуждение атомов с последующим испусканием электромагнитного излучения, ионизация, перезарядка атомов и т. д.

Изучая их, физики сравнительно быстро убедились, что все эти явления практически не зависят от агрегатного состояния вещества. Это обусловлено тем, что определяющую роль в них играют столкновения налетающих частиц с отдельными атомами среды, причем последовательные акты столкновений независимы. Однако

такая некоррелированность, если говорить о твердом веществе, возникает только в аморфной среде. Уже в поликристаллах различные акты столкновений частицы с атомами среды нельзя считать полностью независимыми. Что же касается монокристаллов, то последовательные столкновения в них настолько взаимосвязаны, что возникает много ярких эффектов, не проявляющихся в аморфных веществах. Оказалось, что степень коррелированности зависит от взаимной ориентации импульса частиц и кристаллографических осей. Поэтому совокупность проблем, связанных с эффектами, появляющимися при прохождении заряженных частиц через ориентированные монокристаллы, стали называть физикой ориентационных явлений.

На ранних этапах развития атомной и ядерной физики, как и в последующие несколько десятилетий, эти вопросы оставались вне пределов внимания исследователей. Правда, недавно физики, занимающиеся изучением ориентационных явлений, обнаружили статью И. Штарка, опубликованную еще в 1912 г., где автор предлагал поставить эксперимент, в котором ионы пропускались бы через так называемые каналы — пустоты между рядами атомов в монокристалле. Судя по последующим публикациям, идея такого эксперимента не получила дальнейшего развития. Возможно, виной тому была крайне слабая техническая оснащенность ядерных лабораторий того времени.

Интерес к изучению процессов взаимодействия частиц с монокристаллами резко возрос в 60-е годы, и это вполне закономерно. Развитие новой технологии легирования полупроводниковых материалов (метод ионного легирования), разработка монокристаллических полупроводниковых детекторов для регистрации ядерных излучений, учет воздействия реакторного и космического излучений на разнообразные приборы и материалы — вот далеко не полный перечень задач, решение которых было невозможно без детального изучения закономерностей движения быстрых ионов в кристаллах. Во многих лабораториях мира стали проводиться теоретические и экспериментальные исследования, в процессе которых и были открыты ориентационные явления. Одному из них — эффекту теней — уже была посвящена статья в журнале «Природа»<sup>1</sup>. Здесь мы расскажем еще об одном явлении из группы ориентационных — так называемом каналировании заряженных частиц в монокристалле.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАНАЛИРОВАНИЯ

Явление каналирования было обнаружено как в результате экспериментальных исследований, так и при моделировании на ЭВМ процесса прохождения заряженных частиц через кристаллы. Исследователи обратили внимание на следующее: если направлять частицы вдоль кристаллографических осей монокристалла, то длина их пробега существенно возрастает

по сравнению с длиной пробега частиц в аморфной среде. По существу, это реализация идеи, предложенной Штарком. Однако истинная картина явления оказалась значительно сложнее, чем предполагал Штарк. Для возникновения каналирования важно не только то, что частица движется в канале, а и то, как она движется. Простые оценки показывают, что если бы частица двигалась в канале прямолинейно, то заметное увеличение пробега наблюдалось бы у тех частиц, траектория которых располагается почти точно вдоль оси канала. Поскольку направления движения частиц в реальных пучках имеют заметный угловой разброс, из них лишь ничтожная часть могла бы двигаться по каналу, не наткнувшись на его «стенки». Однако, согласно экспериментальным данным, в движении по каналам может принимать участие значительная часть частиц, реально получаемых на ускорителях. Как показывает детальный анализ движения частиц в кристаллах, это объясняется тем, что, двигаясь по каналу, частицы имеют возможность как бы зеркально отражаться от его «стенок».

Действительно, если расстояние от частицы до рассеивающего атома (параметр столкновения) оказывается достаточно большим ( $\geq 0,1 \text{ \AA}$ ), то направление движения частицы при рассеянии изменится незначительно. Поэтому при малых углах падения частицы на цепочку большое значение параметра столкновения в каждом последующем акте рассеяния сохраняется — мы имеем дело с сильной коррелированностью последовательных столкновений. Траектория изгибается достаточно плавно, и угол падения частиц на цепочку атомов равен углу отражения от нее (зеркальное отражение). Стоит частице подойти близко к центру рассеивающего атома, что происходит при большом угле падения, как под действием кулоновского поля ядра она резко изменит направление своего движения, и в результате этого отражение от цепочки не будет зеркальным. Следовательно, малость угла падения  $\psi$  — важное условие зеркального отражения частицы от цепочки атомов. Известным датским физиком И. Линдхардом был введен так называемый критический угол каналирования, который определяется следующим соотношением:

$$\psi_K = \sqrt{\frac{2Z_1 Z_2}{E d}},$$

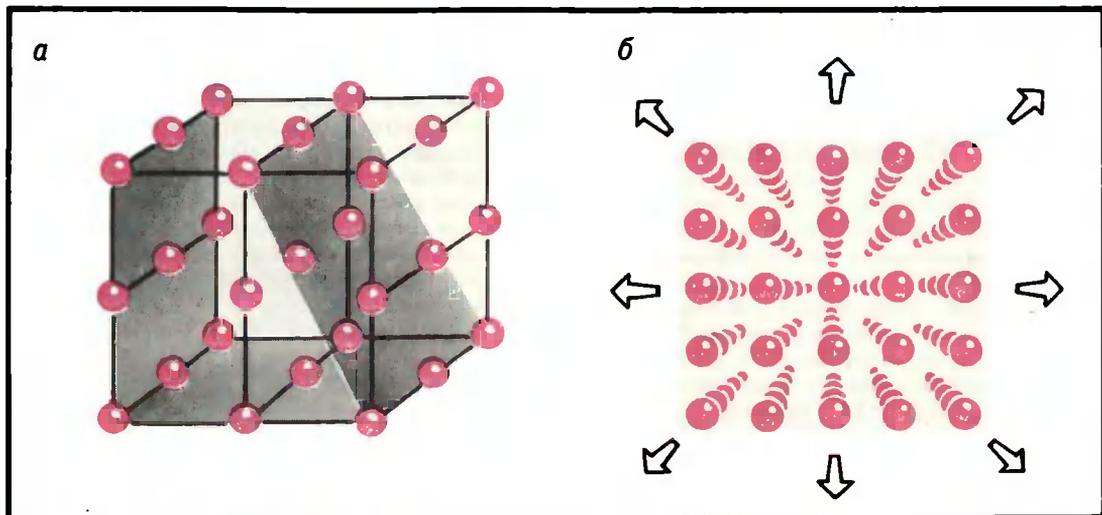
где  $Z_1$  и  $Z_2$  — заряды движущейся частицы и ядер атомов цепочки,  $E$  — энергия части-

<sup>1</sup> Меликов Ю. В., Тулинов А. Ф. Ядерные столкновения и кристаллы. — «Природа», 1974, № 10.

цы и  $d$  — расстояние между соседними атомами цепочки. Все частицы, падающие на цепочку под углами  $\psi < \psi_k$ , будут зеркально отражаться от нее. Можно также вычислить наименьшее расстояние  $\rho_k$  между траекторией частицы и осью цепочки при угле падения  $\psi_k$ . Если в качестве примера рассмотреть движение протона с энергией 0,5 МэВ вблизи цепочки монокристалла вольфрама ( $Z=74e$ ,  $d=3 \cdot 10^{-8}$  см), то для критического угла получится значение  $\psi_k \approx 2,3^\circ$ , а наименьшее расстояние  $\rho_k$  будет равно 0,3 А. Очевид-

представлении частице будет доступно все пространство поперечной плоскости, за исключением небольшой области радиуса  $\rho_k$  в окрестности цепочки. Из этого следует, что бытующее иногда представление о каналировании как о движении частиц в пределах «одного канала» (одной элементарной ячейки в поперечной плоскости) является в общем случае неправомерным. Канализованная частица может блуждать по кристаллу в довольно широких пределах.

Таким образом, если пучок частиц с



Модель простой кубической решетки кристалла (а). Цепочки (или ряды) атомов образуют кристаллографические оси. Ряды параллельных цепочек образуют кристаллографические плоскости. Вид на решетку в направлении одной из осей (б).

но, что при уменьшении угла падения  $\psi$  величина  $\rho$  возрастает.

Перейдем теперь от одной цепочки к монокристаллу. При выполнении условия отражения от одной цепочки движение частицы в толще кристалла представляет собой почти свободный пролет в пространстве между рядами атомов, прерываемый столкновениями с ними, причем в каждом акте рассеяния выполняются условия зеркального отражения. Если для наглядности перейти от трехмерной картины движения частицы в кристалле к двумерной, т. е. рассматривать проекцию движения частицы на плоскость, перпендикулярную выбранным цепочкам, то в таком

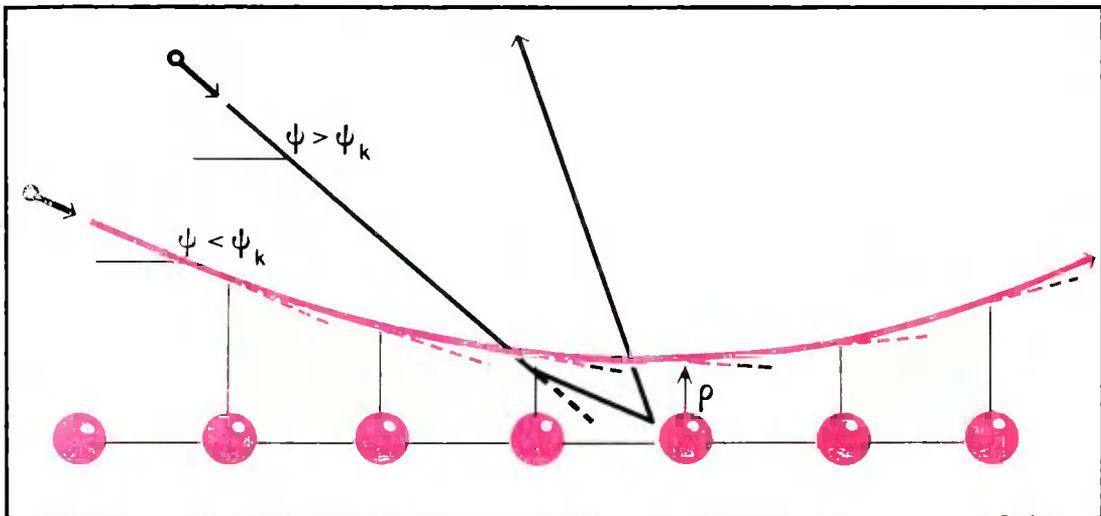
угловой расходимостью, меньшей  $\psi_k$ , падает на монокристалл вдоль одной из его кристаллографических осей, то значительное число частиц захватывается в режим каналирования и весьма стабильно в нем удерживается. Если же по каким-либо причинам частица попадает в область  $\rho < \rho_k$ , то в результате близких столкновений с ядрами она рассеивается на угол, превышающий  $\psi_k$ , выбывает из режима каналирования и в дальнейшем движется, как в аморфной среде.

Мы описали особенности движения частиц, падающих на кристалл вдоль кристаллографической оси. Оказывается, что это не единственная возможность каналирования. Существует и так называемое плоскостное каналирование. Оно наблюдается в тех случаях, когда частицы падают на монокристалл вдоль кристаллографических плоскостей. Анализ взаимодействия частицы с такой сложной системой, как плоскость, плотно упакованная атомами, показывает, что подобная система тоже обладает способностью зеркально отра-

жать частицы, но только в этом случае критический угол оказывается заметно меньше, чем при осевом каналировании. Здесь термин «каналирование» точнее соответствует сути явления, поскольку частица действительно движется в пределах одного «канала» — области пространства, заключенной между двумя соседними плоскостями.

Особый характер движения частиц в режиме как осевого, так и плоскостного каналирования влечет за собой ряд важных следствий. Первое из них — заметное

которых ионизационные потери являются основными, приблизительно в 1,5 раза больше, чем в аморфной среде. Потери на «ядерные столкновения» — это передача энергии рассеиваемому атому как целому при достаточно близком столкновении. Поскольку для каналированных частиц близкие столкновения с атомами среды в значительной степени исключены, для них этот вид потерь резко уменьшается. Так, в случае тяжелых ионов с энергией в несколько кэВ, для которых потери на ядерные столкновения обычно доминиру-



Рассеяние частиц на цепочке атомов. Если угол падения меньше критического ( $\psi < \psi_k$ ), все акты рассеяния происходят при больших параметрах столкновения с атомами каждый раз на малый угол, в результате чего имеет место зеркальное отражение цепочки. В случае  $\psi > \psi_k$  частица рассеивается на большой угол.

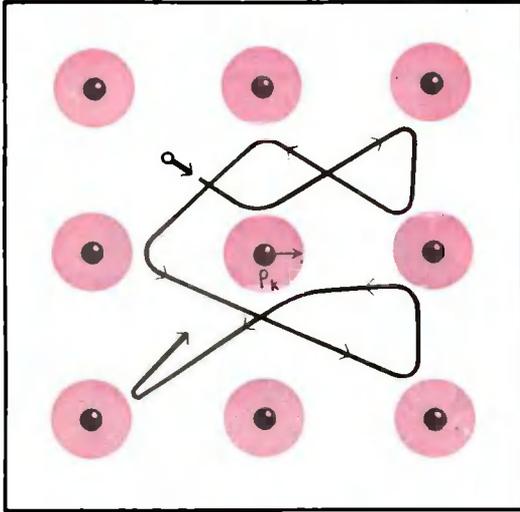
уменьшение скорости торможения каналированных частиц и связанное с этим увеличение длины их пробега. Физическая причина такого явления достаточно проста. Потери энергии частиц, движущихся в аморфных средах при не очень высоких энергиях, в основном определяются так называемыми ионизационными потерями и потерями на «ядерные столкновения». Ионизационные потери зависят от плотности электронов, а при каналировании частицы движутся в области, где плотность электронов на несколько десятков процентов ниже средней в кристалле. Поэтому, например, длина пробега каналированных протонов с энергией в несколько МэВ, для

ют, каналирование приводит к увеличению длины пробега более чем на порядок. Другое следствие особого характера движения частиц при каналировании — это резкое подавление всех процессов, происходящих при близких столкновениях частиц с ядрами или внутренними оболочками атомов среды. К таким процессам относятся ядерные реакции, упругое Резерфордское рассеяние на большие углы, возбуждение характеристического излучения на внутренних оболочках (K, L).

Иллюстрацией к сказанному выше может служить следующий эксперимент. Пучок протонов из ускорителя падает на кристалл алюминия; образующиеся в результате ядерной реакции  $Al(p, \alpha)$  альфа-частицы регистрируются детектором. Величину угла  $\varphi$  между кристаллографической осью и направлением пучка можно изменять. Оказывается, что при больших значениях  $\varphi$  число регистрируемых альфа-частиц будет таким же, как в случае аморфной мишени. По мере уменьшения этого угла число альфа-частиц уменьшает-

ся и при  $\varphi = 0$  достигает величины порядка нескольких процентов от первоначального. Как и следовало ожидать, интервал углов  $\Delta\varphi$ , соответствующий существованию спаду интенсивности альфа-частиц, примерно равен величине  $\Delta\varphi = 2\varphi_k$ .

Для многих приложений оказывается полезным не просто регистрировать частицы, рассеянные на большие углы, но и измерять их энергетический спектр. Анализируя его, необходимо иметь в виду, что основной процесс, в результате которого частица отбрасывается на большой угол

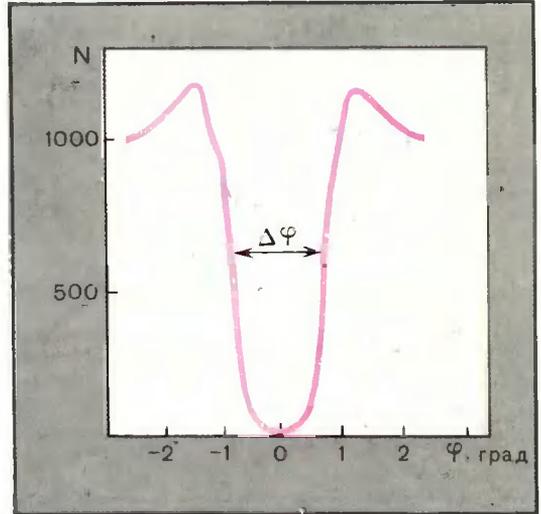


Рассеяние частицы системой цепочек (вид с торцов). Частица, движущаяся в режиме каналирования, блуждает по кристаллу, не заходя в области радиуса  $r_k$  в окрестности цепочек (на рисунке показаны цветом). Эти области доступны только неканализованным частицам.

и попадает в детектор, — это однократное рассеяние на атомном ядре, расположенном на некоторой глубине мишени. Причем существует однозначная связь между толщиной слоя вещества, пройденного частицей, и потерей ее энергии. Таким образом, каждому значению энергии рассеянных частиц  $E$  можно сопоставить значение  $X$ , соответствующее глубине слоя мишени, в котором произошло однократное рассеяние. Правда, сделать это можно только для тяжелых заряженных частиц — для электронов и позитронов связь между глубиной и потерей энергии усложняется из-за существенной роли их многократного рассеяния в среде.

Каковы же характерные особенности спектральных кривых, получаемых в подобных экспериментах?

Спектр, соответствующий неориентированному кристаллу, обычно имеет форму достаточно пологой кривой, обрывающейся при некотором значении энергии  $E_0 < E_{\text{лучка}}$ , которому соответствует нулевая глубина проникновения частиц в кристалл — рассеяние в этом случае происходит на поверхности мишени. Форма кривой отражает тот очевидный факт, что вероятность рассеяния неканализованных



Угловая зависимость вероятности протекания ядерной реакции  $\Delta I$  (р.  $\alpha$ ). При совпадении направления пучка и оси кристалла, т. е. в случае каналирования, процесс взаимодействия налетающих протонов с ядрами резко подавляется (здесь и далее  $N$  — число зарегистрированных частиц).

частиц на большой угол (или, что то же, вероятность близкого столкновения с ядром) слабо зависит от глубины рассеивающего слоя.

Когда для падающих на мишень частиц выполняются условия каналирования, вероятность близких столкновений с ядрами уменьшается в десятки раз, и число частиц, регистрируемых детектором, резко падает во всем интервале энергий, за исключением низкоэнергетической области спектра, где кривая имеет некоторый подъем. Он обусловлен так называемым деканализированием, т. е. постепенным выбыванием частиц из режима каналирования вследствие возмущения характера дви-

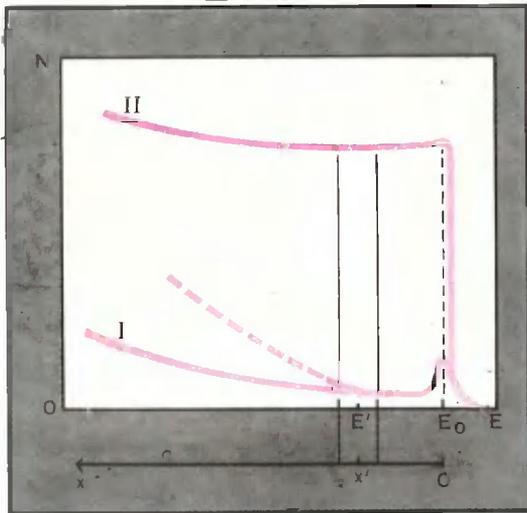
жения частиц в канале под влиянием ряда физических факторов, которые не учитывались в рассмотренной выше идеализированной схеме. К таким факторам относятся многократное рассеяние каналированных частиц на электронах, тепловые колебания атомов решетки и разнообразные дефекты кристаллической структуры. Чем выше концентрация дефектов или интенсивность тепловых колебаний, тем круче кривая, соответствующая каналированию.

## МЕТОД ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

При решении разнообразных прикладных задач в настоящее время широко используется так называемый метод обратного рассеяния. Суть его состоит в том, что на монокристаллическую мишень, свойства которой исследуются, падает параллельный пучок заряженных частиц; с помощью спектрометра измеряется энергетический спектр тех из них, которые рассеялись на большой угол (как правило, в обратную полусферу — отсюда и название метода). Анализ спектральных кривых, полученных при различной ориентации мишени, позволяет судить о свойствах исследуемых кристаллов. В частности, методом обратного рассеяния начинают широко пользоваться при изучении состава и структуры поверхностей монокристаллов. Из законов сохранения энергии и импульса следует, что энергия, передаваемая при рассеянии частицей ядру, тем больше, чем ближе они по массе. Таким образом, значение максимальной энергии рассеянных частиц  $E_0$  будет определяться не только энергией пучка, но и массой ядер мишени. Поэтому, если на поверхности монокристалла находятся атомы различных примесей, то в спектре для каналированных частиц появится система пиков. Энергия каждого пика будет соответствовать атомному весу примеси, его ширина — толщине слоя, в котором эта примесь распределена, а высота — концентрации примеси. Использование здесь режима каналирования дает возможность уменьшить выход частиц, рассеянных на основных атомах и являющихся в данном случае нежелательным фоном. Благодаря этому чувствительность метода очень высока. Он позволяет зафиксировать в кристалле легкие атомы примеси в количестве, равном 0,1 атомов в монослое. В случае же тяжелых примесей это число достигает 0,001 атомов. Примерно такой же чувствительностью обладает метод оже-спектроскопии; но он дает только качественную информацию,

в то время как метод обратного рассеяния позволяет получать некоторые количественные данные о наличии примесей на поверхности монокристаллов.

Кроме того, при помощи метода обратного рассеяния иногда удается получить представление о характере распределения примесных атомов в поверхностном слое. Так, например, если относительная высота пиков не меняется при переходе от режима каналирования к произвольной ориентации кристалла, то это означает, что в поверхностном слое атомы примеси рас-

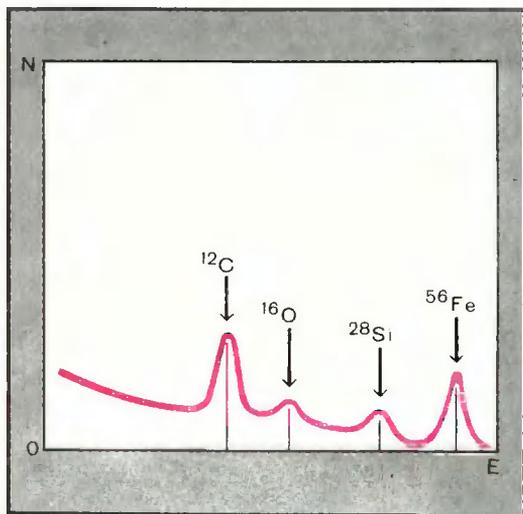


Аналитический спектр частиц в случае обратного рассеяния при ориентации оси кристалла вдоль направления пучка (кривая I) и для неориентированного кристалла (кривая II). Чем выше концентрация дефектов, тем круче кривая, соответствующая каналированию (пунктирная кривая). Небольшой пик, соответствующий энергии  $E_0$  на кривой I, обусловлен частицами, рассеянными на торцах цепочек. Между энергией рассеянных частиц и глубиной слоя мишени, в котором произошло однократное рассеяние, существует взаимно однозначное соответствие ( $E' \approx x'$ ).

полагаются неупорядоченно. В то же время, когда атомы какой-либо примеси находятся в узлах основной решетки, соответствующий пик будет отсутствовать в случае каналирования и присутствовать при произвольной ориентации падающего пучка.

Для различных приложений (особенно в современной полупроводниковой технологии) важное значение имеет определение толщины и степени совершенства тон-

ких эпитаксиальных слоев<sup>2</sup>. Когда масса атомов эпитаксиального слоя больше или равна массе атомов основной матрицы, эти задачи весьма изящно решаются методом обратного рассеяния. В такой ситуации спектр состоит из двух частей: высокоэнергетическая область относится к выращенной пленке, а низкоэнергетическая — к кристаллу-основе. По ширине высокоэнергетической части  $\Delta E$  экспериментатор определяет толщину пленки; крутизна же спектральной кривой, соответствующей каналированию в пленке, характеризует кри-



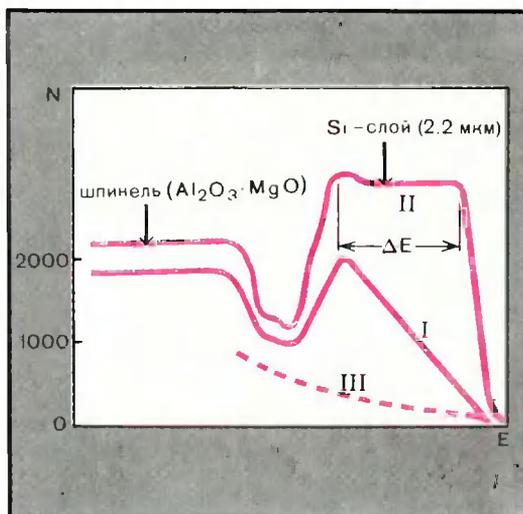
Спектр обратного рассеяния протонов на монокристалле кремния при наличии на его поверхности примесей  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{12}\text{C}$ . Благодаря различию в энергии отдачи ядер, пики, соответствующие различным элементам, расположены в разных частях спектра.

сталлическую структуру пленки и содержит количественную информацию о ее дефектах.

Метод обратного рассеяния оказывается очень эффективным и при решении более общей проблемы — изучении некоторых объемных свойств кристалла. В частности, этим методом удается исследовать макро- и микрораспределения примесей и дефектов в толще кристалла. Под микрораспределением обычно понимают профиль распределения примесей и де-

фектов по глубине кристалла безотносительно к их положению в элементарной ячейке. Микрораспределение — это положение примесного атома или дефекта в пределах элементарной ячейки. В настоящее время эти задачи стали весьма актуальными в физике и технике полупроводников, радиационной физике, физике металлов. Ниже будет показано на отдельных примерах, как решаются некоторые из них.

Сначала рассмотрим задачу о макрораспределении дефектов. С ней физики



Спектр протонов, рассеянных на монокристалле шпинеля  $[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}]$  с выращенным на его поверхности эпитаксиальным слоем кремния — в случае канализации (кривая I) и при произвольной ориентации кристалла (кривая II). Спектр, соответствующий каналированию в совершенном кристалле кремния (кривая III).

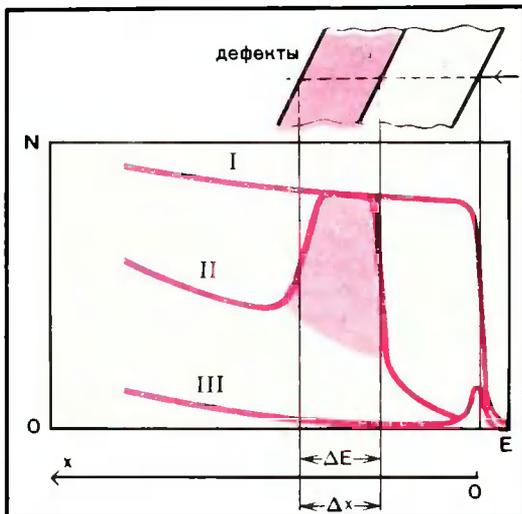
близко столкнулись, когда стали широко использовать технологию ионного легирования для придания определенных, часто уникальных, свойств полупроводникам и металлам (в частности, таким способом сейчас пытаются получить новые виды сверхпроводящих материалов). При ионном легировании ускоренные до определенных энергий ионы «вбиваются» в какой-либо образец; простым варьированием энергии пучка обеспечивается нужный профиль распределения легирующих примесей. Возможности метода ионного легирования чрезвычайно широки, однако он имеет серьезный недостаток: при вбивании ионов в кристаллах возникают дефек-

<sup>2</sup> Пленки, или слои, выращенные на грани кристалла и имеющие монокристаллическую структуру, называют эпитаксиальными.

ты, и при достаточно высокой концентрации внедренных ионов это может привести даже к полной аморфизации исходного материала. Восстановление кристаллической структуры обычно производится путем температурной обработки. Профиль разрушенного слоя, степень разрушения и восстановления можно успешно исследовать методом обратного рассеяния. Для этих целей обычно используют пучок легких ионов (протонов, дейтронов, альфа-частиц) с такой энергией, чтобы длина их пробега существенно превышала глубину дефектной области. Форма спектральной кривой, полученной при рассеянии частиц в кристалле, ось которого ориентирована вдоль направления пучка, будет определяться формой макрораспределения. В наиболее простом случае в таком спектре появится пик, обусловленный частицами, рассеянными внутри разрушенного слоя. Если пик достигает уровня кривой для неканализованного случая, то это свидетельствует о наличии слоя с полной аморфизацией. Вообще по ширине и интенсивности пика можно сделать заключение о толщине разрушенного слоя и степени его разрушения, а по положению пика в спектре — о глубине залегания поврежденной области. Анализ такого рода спектров при различных режимах легирования и отжига дает богатую информацию об образовании и дальнейшей судьбе дефектов.

Одно из наиболее интересных и красивых приложений метода обратного рассеяния — определение положения примесных атомов в ячейке кристалла, т. е. их микрораспределения. В ряде случаев положение примесного атома удается определить с точностью до  $0,1 \text{ \AA}$ . Информация о положении примесного атома, полученная методом обратного рассеяния и в более общем случае с помощью ориентационных эффектов, является хорошим дополнением к той, которую дают различные косвенные методы (исследование проводимости, использование сверхтонких взаимодействий, эффекта Холла и др.). Для локализации примесного атома в решетке кристалла прежде всего необходимо в спектре обратного рассеянных частиц выделить те из них, которые были рассеяны непосредственно на примесных атомах. Это легко сделать в тех случаях, когда тяжелый примесный атом «внедрен» в кристалл, состоящий из легких атомов. Частицам, рассеянным на тяжелых атомах, будет соответствовать пик в высокоэнергетической области

спектра; этот пик может быть легко отделен от основной части спектра. Далее нужно исследовать поведение пика при различных ориентациях кристалла. Если выделенная часть спектра не зависит от ориентации кристалла, можно сделать вывод, что примесные атомы распределены в решетке хаотично; если же пик при каналировании практически исчезает, это свидетельствует о расположении атомов примеси в соответствующих цепочках или плоскостях. Теоретический анализ данных, полученных при различных ориентациях



Спектры протонов, рассеянных на кристалле с поврежденной зоной: кривая I — неориентированный кристалл, кривая II — кристалл ориентирован вдоль пучка. Пик на кривой II обусловлен частицами, рассеянными в поврежденном слое. Для сравнения дан энергетический спектр частиц, рассеянных при каналировании на неповрежденном кристалле (кривая III). В области низких энергий кривая II проходит существенно выше кривой III: значительное число частиц, не испытав обратного рассеяния в разрушенном слое, тем не менее рассеялось в нем на малые углы, вышло из режима каналирования, тем самым обогатив неканализованную часть пучка. В правом верхнем углу показано сечение кристалла, цветом обозначена область с дефектами.

кристалла, позволяет сделать вывод о возможных положениях примесных атомов в элементарной ячейке.

Когда примесный атом легче атомов кристалла или по массе соизмерим с ними, использование метода обратного рассеяния связано с трудностями, так как рассеянные на атомах примесные частицы «теряются» среди тех, которые рассеиваются на атомах основного кристалла.

Здесь на помощь приходят ядерные реакции. Поскольку спектр продуктов ядерных реакций на каждом ядре сугубо индивидуален, часто оказывается возможным на фоне рассеянных частиц и продуктов реакций на ядрах основного кристалла выделить продукты реакции на ядрах примеси. Дальнейшая процедура определения положения примесного атома состоит в наблюдении за выделенным участком спектра при различных ориентациях кристалла и ничем не отличается от описанной выше.

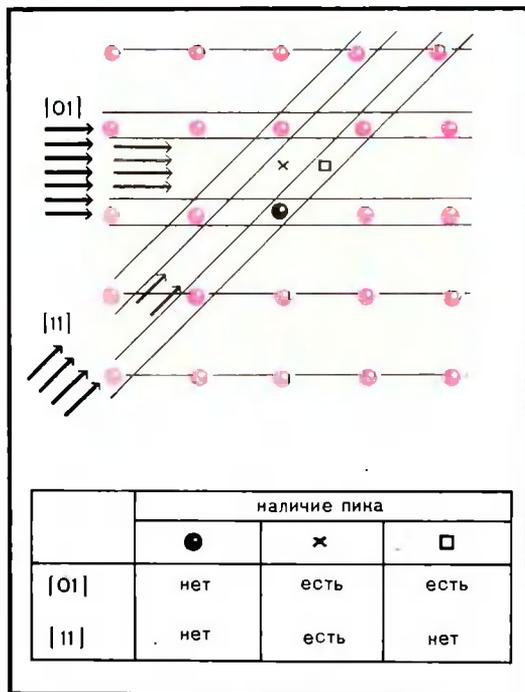


Иллюстрация принципа определения положения примесного атома. Возможные положения атома примеси в кристалле помечены крестиком, квадратиком и кружком. Таблица поясняет, в каких случаях пик, соответствующий рассеянию на примесных атомах, будет наблюдаться, а в каких — исчезать. [01] и [11] — обозначения кристаллографических осей.

Широкие перспективы для решения задач о микрораспределении имеет модификация изложенного метода, когда выделение примесного атома производится с помощью его характеристического рентгеновского излучения, возбуждаемого налетающими заряженными частицами. Этот метод имеет следующие достоин-

ства: во-первых, энергия характеристического излучения строго соответствует порядковому номеру элемента в Периодической таблице Менделеева; во-вторых, сечение (иначе говоря, вероятность) возбуждения рентгеновского излучения значительно больше, чем сечение ядерных реакций и даже рассеяния. Здесь трудность состоит в необходимости регистрировать линии рентгеновского излучения с хорошим энергетическим разрешением и высокой эффективностью. В последние годы в этом направлении получены обнадеживающие результаты. Разработаны высокоэффективные спектрометры рентгеновского излучения полупроводникового типа, которые в настоящее время имеют энергетическое разрешение  $\sim 150$ — $200$  эВ. Во многих случаях такие спектрометры уже вполне удовлетворяют предъявляемым требованиям, и, по-видимому, в ближайшем будущем описанный метод регистрации примесных атомов найдет широкое применение.

#### НЕКОТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Приведенные выше примеры дают представление о том, какие подчас уникальные возможности дает каналирование для решения весьма тонких задач физики и техники. Однако, чтобы полнее использовать эти возможности, еще необходимо решить много проблем, относящихся к физике взаимодействия быстрых заряженных частиц с монокристаллами.

В этом плане одним из основных физических направлений является исследование эволюции пучка каналированных частиц при прохождении ими довольно толстых слоев монокристалла. Уже упоминалось, что имеется ряд факторов, возмущающих движение частиц в каналах. В результате этого возмущения часть пучка постепенно выводится из режима каналирования. Этому предшествуют сложные изменения пространственных и угловых распределений каналированных частиц. Последовательное теоретическое описание этих процессов — задача очень сложная. Решать ее приходится приближенно, привлекая различные методы квантовой механики, кинетических уравнений, машинное моделирование.

Другое направление связано с детальным изучением потерь энергии при движении частиц как в режиме каналирования, так и в режиме деканалирования. Для каналированной частицы, по

сравнению с частицей, движущейся в аморфной среде, характерно перераспределение «удельного веса» различных видов энергетических потерь. Такая частица практически не теряет энергию на ядерные столкновения, и ее потери на соударения с электронами существенно снижаются, зато возрастает доля энергии, затрачиваемая на возбуждение коллективных степеней свободы в кристалле, например плазменных колебаний<sup>3</sup>, которые в этом случае проявляются гораздо отчетливей, чем в аморфной среде.

С точки зрения метода обратного рассеяния, практический аспект изучения энергетических потерь в кристаллах состоит в том, что приходится соотносить энергии вылетающих частиц с определенными глубинами рассеивающего слоя. Для большинства аморфных веществ такой пересчет можно делать довольно уверенно, а для монокристаллов эта задача решается лишь в первом приближении. Регистрируемые частицы некоторую часть пути проходят в режиме каналирования с уменьшенными потерями, причем по мере движения, как мы уже знаем, они постепенно выбывают из этого режима. В результате этого фактор ослабления потерь для частицы, стартовавшей в режиме каналирования, меняется с глубиной. Учет этого процесса при определении зависимости потерь энергии от глубины рассеяния в случае монокристаллов требует привлечения довольно сложного математического аппарата: приходится решать громоздкие интегральные уравнения и использовать различные приближенные методы.

Физические задачи, связанные с каналированием быстрых частиц в кристаллах, не ограничиваются теми, которые возникают в различных приложениях этого явления. Существует много проблем, связанных с более глубоким и всесторонним изучением движения частиц в монокристаллах.

До сих пор обсуждалось каналирование тяжелых положительно заряженных частиц. Однако интерес представляют также задачи о прохождении через кристалл легких заряженных частиц — электронов и позитронов. В области малых энергий

( $\leq 100$  кэВ), где свойства этих частиц обусловлены их волновой природой, такие задачи, как дифракция электронов на кристаллах, изучаются весьма успешно уже на протяжении многих десятилетий. Однако те явления, о которых идет речь в статье, наиболее отчетливо наблюдаются у частиц с энергиями порядка нескольких МэВ, когда длины волн де Бройля достаточно малы, чтобы проявились корпускулярные свойства этих частиц. В этой области энергий поведение позитронов в кристалле во многом подобно поведению тяжелых частиц. Что же касается электронов, то в их движении обнаружены значительные особенности. Например, при осевом каналировании электронов из-за их отрицательного заряда траектория движения частицы может иметь форму спирали — электрон вращается вокруг цепочки (состояния с определенным угловым моментом) и одновременно перемещается вдоль нее. Кроме того, у электрона по отношению к цепочке может быть состояние с нулевым угловым моментом, когда частица колеблется, периодически пересекая цепочку.

Большое внимание исследователей, особенно в последнее время, привлечено к вопросам каналирования частиц сверхвысоких энергий. При изучении движения через кристаллы электронов и позитронов с энергией  $\sim 1$  ГэВ и протонов с энергией  $\sim 100$  ГэВ было установлено, что и в этих условиях явление каналирования можно уверенно наблюдать. Кроме того, релятивистские эффекты в данном случае играют дополнительную стабилизирующую роль, так как в результате лоренцовых преобразований возрастает эффективная высота стенок потенциальной ямы, в пределах которой движется каналирующая частица.

В связи с экспериментами по каналированию при высоких энергиях возник вопрос о возможности наблюдения нового вида свечения, обусловленного особенностями движения частицы в режиме каналирования. Рассматривая эту задачу квантовомеханически, можно сказать, что движущаяся в плоскостном канале релятивистская частица может находиться в различных квантовых состояниях поперечного движения, переходы между которыми обуславливают это излучение.

Представляются также интересными задачи, связанные с каналированием молекулярных ионов. До последнего времени идея пропуска молекул через пленку твердого вещества всерьез

<sup>3</sup> Система положительных и отрицательных зарядов в твердом теле образует особый вид плазмы, которая обладает способностью к коллективным возбуждениям, так называемым плазменным колебаниям.

не обсуждалась, так как предполагалось, что они будут мгновенно «разваливаться» на отдельные атомы. Однако эксперименты показали, что часть двухатомных молекул, прошедших через пленку, выходит из нее в связанном состоянии, причем при выполнении условий каналирования число их заметно возрастает. Оказалось, что хотя молекула действительно теряет свои электроны при попадании в кристалл и превращается в два иона, один из них, двигаясь в канале, вызывает поляризационную волну такой формы и интенсивности, что в некоторых случаях эта волна связывает оба иона, препятствуя их разлету. На выходе из пленки эти ионы с определенной вероятностью вновь захватывают электроны и регистрируются детектором как молекула. Такого рода эксперименты стали тонким инструментом для изучения поляризационных свойств среды при прохождении через нее частиц.

Следует заметить, что непосредственно для ядерной физики каналирование, в отличие от эффекта теней, пока не предоставило каких-то дополнительных возможностей. Однако определенные перспективы в этом направлении все же имеются. Речь идет о возможности создания в будущем источников поляризованных ядер. Был поставлен следующий эксперимент: пучок дейтронов пропущался через намагниченную монокристаллическую пленку ферромагнетика (использовался никель) параллельно кристаллографической оси. Было обнаружено, что в результате захвата дейтронами валентных электронов, угловой момент которых в присутствии магнитного поля ориентирован преимущественно параллельно направлению внешнего магнитного поля, образуется пучок атомов с поляризованной электронной оболочкой. Далее поляризация электронной оболочки этих атомов за счет сверхтонкого взаимодействия вызывает частичную поляризацию ядер, которые уже могут использоваться для целей ядерной физики.

Значительный интерес представляет возможность резонансного возбуждения налетающего иона, движущегося в режиме каналирования. Пересекая ячейки кристалла, ион испытывает периодическое силовое воздействие со стороны близко расположенных атомов. Частота этого воздействия  $\nu = V/d$ , где  $V$  — скорость частицы,  $d$  — период решетки. Если у иона имеется энергетический уровень  $E = h\nu$ , то существует вероятность его возбужде-

ния с последующим испусканием фотона частоты  $\nu$ . Эксперименты при всей сложности их постановки подтверждают существование такого эффекта.

Конечно, перечисленные примеры далеко не исчерпывают всего многообразия явлений, обнаруженных при изучении ориентационных эффектов. Исследования в этой области широко ведутся как в нашей стране, так и за рубежом. Круг явлений, возникающих при прохождении частиц через монокристаллы, непрерывно расширяется, и это позволяет надеяться, что с их помощью удастся решить много интересных задач физики.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Труды III, IV, V, VI, VII, VIII Всесоюзных совещаний по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами. М., Изд-во Моск. ун-та, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977.

CHANNELING. Ed. by Morgan D., N. Y., 1973.

Тулинов А. Ф. ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА НЕКОТОРЫЕ АТОМНЫЕ ПРОЦЕССЫ.— «Успехи физических наук», 1965, т. 87, с. 585.

Gemmel D. S. CHANNELING AND RELATED EFFECTS IN THE MOTION OF CHARGED PARTICLES THROUGH CRYSTALS.— «Reviews of Modern Physics», 1974, v. 46, № 1, p. 129.

## Прогноз землетрясений — желаемое и достигнутое

В. П. Солоненко



Виктор Прокопьевич Солоненко, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией сейсмогеологии Института земной коры СО АН СССР. Специалист в области сейсмотектоники, инженерной сейсмогеологии, сейсмического районирования; научный руководитель комплексных сейсмологических и геолого-геофизических исследований в Восточной Сибири, МНР, на Кавказе. Автор многих научных работ. Неоднократно публиковался в «Природе».

Не случайно большое внимание, которое уделяется в последнее время прогнозу землетрясений. Концентрация населения в крупных городах, строительство высоконапорных плотин, крупных промышленных предприятий, создание межгосударственных энергетических коммуникаций превратили землетрясения из бедствий локальных в региональные. Разрушение землетрясением атомной электростанции или крупного химического комбината может привести к опасному заражению в радиусе до сотен километров. На десятки и сотни километров могут продвигаться катастрофические паводковые волны и селевые потоки, возникающие при разрушении высотных плотин. Нарушение энергетических коммуникаций может дезорганизовать производство сразу нескольких государств. Поэтому в ряде стран проблема прогноза землетрясений официально признана научной проблемой № 1. В решении ее проявляют заинтересованность даже государства, на территории которых нет очагов сильных землетрясений.

В последние годы появилось много информации о прогнозе землетрясений, при знакомстве с которой создается иллюзия, будто проблема прогноза землетрясений (т. е. предсказания трех его составляющих — места, времени и силы) уже

решена или, по крайней мере, будет решена в ближайшем будущем.

Так, в американской литературе 1976 г. часто ссылались на пример предсказания времени, места и силы землетрясения, происшедшего 4 февраля 1975 г. в провинции Ляонинг (КНР), когда за 19 час (по другим данным за 4 часа) население было эвакуировано<sup>1</sup>. В последнее время много говорится об удачных прогнозах времени и силы землетрясений по колебаниям уровня воды в скважинах на Курильских о-вах и других районах.

Чаще же всего появляются публикации о возможности использования для прогноза одного из признаков изменений состояния земной коры — сейсмических данных, изменения скорости движения коры, режима и гидрхимии подземных вод, солнечно-лунных приливов и т. п.

При всем этом обычно забывают, что для предсказания явления необходимо знать причину его возникновения или хотя бы взаимосвязи с другими явлениями природы. Причины же землетрясений (за исключением редких и ограниченных по

<sup>1</sup> Hammond Allen L. Earthquakes: an evacuation in China, a warning in California. «Science», 1976, v. 192, № 4239.

площади воздействия вулканических и обвалных) фактически неясны. Подавляющее большинство очагов землетрясений связано с разломами земной коры, но подвижки по разломам обусловлены глубинными процессами, достоверно неизвестными. Так, провинция Ляонинг в КНР была выбрана для сейсмических исследований, поскольку в ней известен ряд активных разломов, с которыми были связаны многочисленные разрушительные землетрясения с магнитудой более 7 (X баллов)<sup>2</sup>. Но прогнозирование велось под лозунгом «Готовность не принесет вреда», а сейсмические тревоги объявлялись неоднократно с 1970 г. В таком высокосейсмичном районе случайные совпадения, в конце концов, неизбежны.

В то же время не были предсказаны катастрофические землетрясения (X—XI и X баллов), происшедшие 27 и 28 июля 1976 г. в 130—140 и 160—170 км восточнее Пекина на глубинном разломе, протянувшемся непосредственно в район столицы КНР. 16 и 23 августа 1976 г. IX—X-балльные землетрясения, также непредсказанные, случились в центральной части КНР. При этих землетрясениях погибло 655 тыс. человек<sup>3</sup>. Это были самые катастрофические землетрясения с XVI в.

Попробуем разобраться, каково же истинное положение с прогнозом землетрясений.

Более четверти века сейсмологи пользуются прогнозом землетрясений по сейсмологическим данным. Считают, что в природе число землетрясений разной силы закономерно сочетается: чем слабее землетрясения, тем их больше. В таком случае на основании кратковременных инструментальных наблюдений, по записям слабых землетрясений можно составить график повторяемости — линейно выраженное соотношение между количеством землетрясений разных энергетических классов. Экстраполируя прямую графика в область высоких энергий, рассчитывают возможную повторяемость сильных землетрясений.

В основе сейсмологических методов прогноза землетрясений лежит гипотеза о постоянстве сейсмического режима. Однако с геологических позиций эта гипотеза явно несостоятельна.

Землетрясение — один из динамичных «взрывных» процессов, происходящих в земной коре, резко отличных от других по своим пространственным (по скольку охватывает все геосферы), временным и процессуальным параметрам. Одним из решающих вопросов при предсказании точного времени землетрясения было бы знание и учет закона взаимосвязи в развитии геологических процессов и явлений. При изменении одного из параметров геолого-геофизического комплекса неизбежно изменяются другие и возникают новые процессы и явления. Кратковременные изменения при землетрясениях геолого-геофизических устоявшихся систем обуславливают долговременные геолого-геофизические следствия, которые, в свою очередь, влекут за собой изменения геолого-геофизических полей по многим признакам часто далеко за границами тех территорий, где ощущалось данное землетрясение. Этим, по-видимому, объясняется существование «систем» землетрясений. Так, в Монголо-Байкальском сейсмическом поясе часто вслед за сильным землетрясением в Монголии с интервалом от двух недель до нескольких месяцев происходит сильное землетрясение на востоке Байкальской рифтовой зоны на расстояниях 1600—1900 км.

| Монголия  |           |                    | Восток Байкальской рифтовой зоны |           |                    |
|-----------|-----------|--------------------|----------------------------------|-----------|--------------------|
| Дата      | Магнитуда | Сила землетрясения | Дата                             | Магнитуда | Сила землетрясения |
| 6.2.1957  | 6,5       | VIII—IX            | 27.8.1957                        | 7,9       | X—XI               |
| 4.12.1957 | 8,6       | XII                | 5.1.1958                         | 6,5       | IX                 |
| 7.4.1958  | 7         | X                  | 14.9.1958                        | 6,5       | IX                 |
| 5.1.1967  | 7,75      | X                  | 18.1.1967                        | 7,0       | IX—X               |

<sup>2</sup> Магнитуда — условная характеристика энергии землетрясения в его очаге (шкала Рихтера). Без указания глубины очага она не является показателем силы землетрясения на поверхности Земли. Например, при магнитуде 6 сила землетрясения может колебаться от V до X баллов.

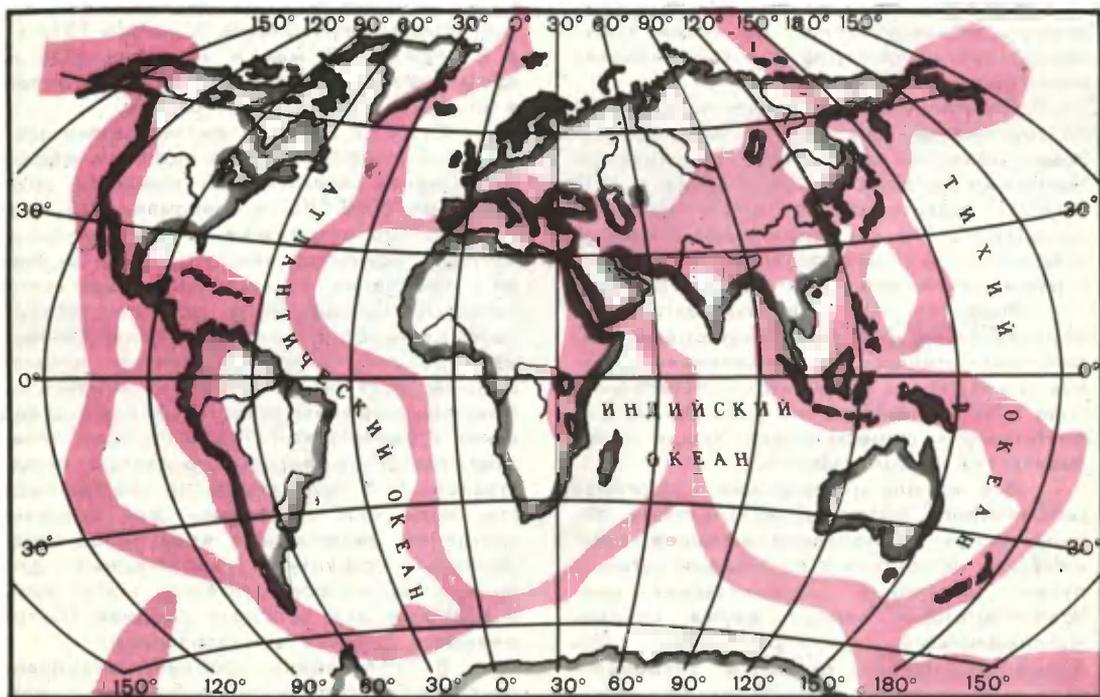
<sup>3</sup> The year of the earthquake. — «Sci. News», 1977, v. 111, № 6.

Вместе с тем сильные землетрясения в центральной и западной частях Байкальской рифтовой зоны не провоцируют ответных мощных толчков ни в Монголии, ни в восточной части рифтовой системы. Что происходит с геолого-геофизическими полями между областями наибольших разрушений, так называемыми плейсто-

сейстовыми зонами, пока точно неизвестно, но что в них происходят аномальные явления — это несомненно. Так, остаточные деформации в связи с Гоби-Алтайским землетрясением 4 декабря 1957 г. зафиксированы наклонными станциями на расстоянии 2430 и 4950 км. С сильными землетрясениями в Монголии и Забайкалье связывают периодическое заполнение водой впадин на юге Забайкалья и севере Монголии. Последний раз это произошло вслед за Муйским (27 июня 1957 г.) и Гоби-Алтайским землетрясениями, когда

ющие за ними. Причем однотипные или похожие аномалии геофизических полей могут быть связаны с разными природными явлениями. Так, по исследованию американских ученых на разломе Сан-Андреас, заметные аномалии в наклонах земной коры, электросопротивлении и теллурических токах оказались связанными с атмосферными осадками. Эти аномалии были даже приняты за предвестники сильного землетрясения.<sup>5</sup>

В ходе подготовки сильного землетрясения все нарастающим напряжениям



Сейсмоактивные зоны Земли.

на расстояниях от их эпицентров 700—800 и 1200 км образовалось Торейское озеро<sup>4</sup> площадью 817 км<sup>2</sup>.

Приведенные примеры показывают, насколько сложны и многосвязны геолого-геофизические сейсмогенные явления и процессы — предшествующие, обуславливающие, сопровождающие их и следу-

подвергаются громадные объемы земной коры. При этом изменяются пористость, проницаемость и другие параметры водно-газовмещающих горных пород, геохимические, магнитные, пьезо- и механо-электрические поля. При одинаковой скорости деформации и возрастании напряжений в горных массах смещение по разрывам или образование новых разрывов, в зависимости от местных неоднородно-

<sup>4</sup> Маринов Н. А. Современные тектонические движения в юго-восточном Забайкалье и на крайнем северо-востоке Монголии. «Геоморфология», 1973, № 3.

<sup>5</sup> Kanamori H., Fuis G. Variation of P-wave velocity before and after the Galway Lake earthquake... «Bull. Seismol. Soc. Amer.», 1976, v. 66, № 6; Wood D., King N. E. Relation between earthquakes, weather and soil tilt.—«Science», 1977, v. 197, № 4299.

стей земной коры, морфологии и вещественного состава самих зон разрывов, наступает при разном уровне напряжений. Следовательно, геодезические, геофизические, гидрохимические, геотермические, электромагнитные и иные аномалии, зависящие от напряжений в горных массах, проявляются в разное время независимо или лишь в косвенной зависимости от момента наступления сейсмогенной подвижки и могут проявляться не только в центральной зоне, но и по всему напряженному объему земной коры под площадью от сотен квадратных километров при умеренных землетрясениях до сотен тысяч квадратных километров при сейсмических катастрофах.

Поэтому нельзя ожидать постоянного повторения тех или иных аномалий в очаговых областях разных сейсмических зон. Например, в ходе землетрясения в КНР в 1975 г. гравитационное поле значительно изменялось, но катастрофические землетрясения 1976 г. не сопровождалась заметными изменениями гравитационного поля<sup>6</sup>.

Известно, что вспышки активности землетрясений сменяются периодами длительного затишья. Продолжительность таких периодов, да и само их существование, пока точно установить не удается, так как длительность существования Земли и человечества не сопоставимы.

Все же для долгосрочного прогноза сейсмичности пытаются использовать периодичность чередования вспышек сейсмической активности с периодами затишья путем выделения «сейсмических циклов» — времени между двумя среднемаксимальными землетрясениями. Для Японо-Камчатского сегмента Тихоокеанской сейсмической зоны намечилась средняя продолжительность цикла в 143 года. Однако материалы, полученные в XIX и XX вв. показывают, что продолжительность сейсмических циклов не выдерживается. Например, у о. Хоккайдо «максимальное» землетрясение произошло в 1884 г. и следующее такое землетрясение ожидалось в XXI в., но оно произошло в 1952 г. Восточнее Южно-Курильских о-вов крупные землетрясения следовало ожидать около 2100 г., а они случились в марте 1978 г. Таких примеров можно привести много. И это с сейсмогеологических позиций вполне естественно, так как «циклы» выделяются на основе гипотезы постоян-

ства сейсмического режима, чего в действительности в природе нет.

Анализ данных по статистике землетрясений, проведенный в последнее время за 2000 лет для Японии и Среднего Востока и 3000 лет для Китая, показывает удивительное непостоянство сейсмического режима.

Именно этим непостоянством объясняется несовершенство предсказания землетрясений, основанных преимущественно на сейсмологических данных. Например, район Газли по таким данным был отнесен к асейсмичным, что подтвердил авторитетный форум сейсмологов 25 марта 1976 г., а 8 апреля, 17 мая и 20 июня 1976 г. здесь произошли землетрясения с силой в эпицентре IX, X и VII баллов.

Судя по материалам Межправительственной конференции по оценке и мерам уменьшения сейсмической опасности, проведенной ЮНЕСКО в феврале 1976 г. в Париже, разочарование в сейсмических методах прогноза землетрясений вызвало у некоторых сейсмологов вообще скептическое отношение к ценности всяких сейсмологических расчетов, основанных на обработке данных по слабым и умеренным толчкам. Это другая крайность. Комплексные сейсмогеологические исследования в Байкальской рифтовой зоне показали, что сейсмологические данные, представленные в виде графиков повторяемости, если они составлены для крупных площадей, включающих весь набор сейсмогенных структур<sup>7</sup>, характерных для данной сейсмической области, могут быть полезными для прогноза средней повторяемости сильных землетрясений.

В публикациях, особенно американских, часто появлялись сообщения о возможности предсказания землетрясений по уменьшению скорости сейсмических волн. Этот метод прогнозирования основан на теории дилатансии — расширения пород. Полагают, что перед землетрясением быстро возрастают напряжения в земной коре. В результате в горных породах образуются многочисленные трещины,

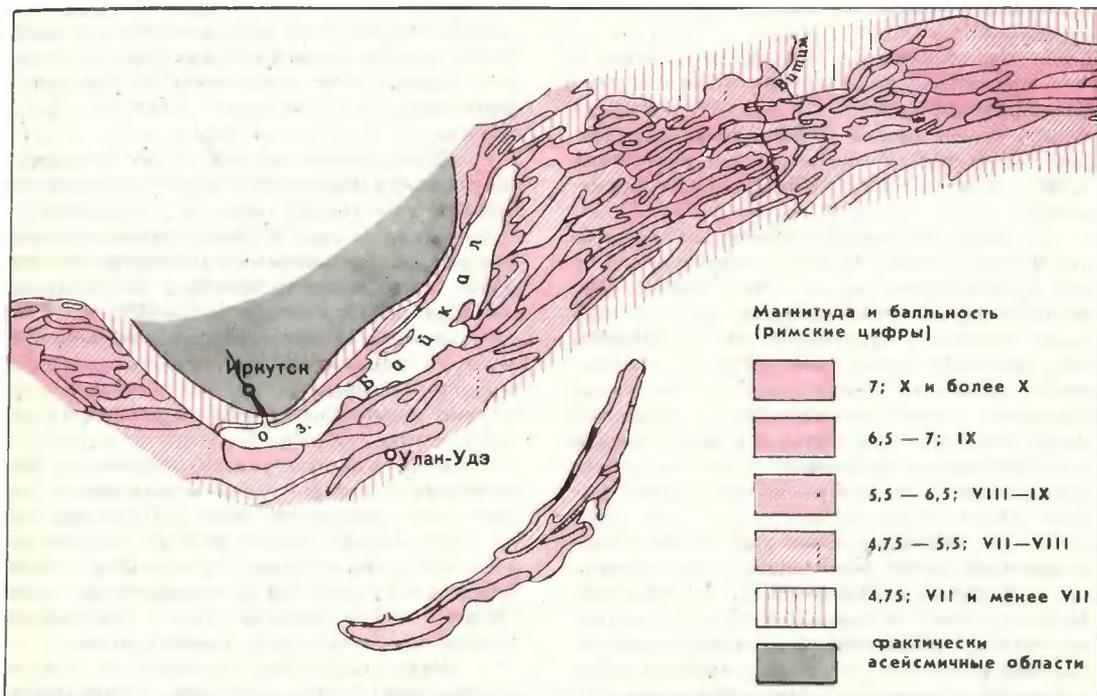
<sup>7</sup>Тектонические структуры земной коры, современное развитие которых приводит к накоплению упругих напряжений. Разрядка их сопровождается землетрясениями. Например, в Байкальской рифтовой зоне главные типы сейсмогенных структур — опускающиеся впадины — рифты и поднимающиеся глыбовые, сводо-глыбовые и др. горы. По границе впадин и гор часто проходят разломы земной коры, с которыми связаны очаги сильных землетрясений.

<sup>6</sup> Adams R. P. Earthquake prediction.— «Nature», 1977, v. 269, № 5623.

происходит их разуплотнение, что уменьшает скорость прохождения продольных сейсмических волн. Количественные же характеристики этого процесса дают возможность прогнозировать место, силу и время землетрясений. В Калифорнии в пустыне Мохаве американские сейсмологи развернули прогностический полигон с современной сейсмической аппаратурой и для определения скоростей сейсмических волн систематически проводили взрывы. 31 мая 1975 г. произошло землетрясение с магнитудой 5,2. По теории дилатансии,

ных аномалий продольных волн перед землетрясением также не было обнаружено.

Нужно сказать, что геологические процессы, приводящие к землетрясениям, могут вызвать как разуплотнение, так и уплотнение горных пород или, в общем, не вызвать существенных изменений их плотности. Поэтому теория дилатансии не пользуется особой популярностью у геологов. Однако со временем, когда будут найдены надежные способы определения конкретных очаговых зон («назре-



Карта вероятных эпицентральных полей землетрясений разной интенсивности Байкальской рифтовой зоны. Составлена коллективом авторов Института земной коры СО АН СССР по сейсмогеологическим, сейсмологическим и геофизическим данным.

скорость сейсмических волн перед таким землетрясением должна была измениться за 2—5 месяцев и к моменту землетрясения уменьшиться на 10—20%. В действительности же она повысилась на 1%. Двухлетний эксперимент в пустыне Мохаве по проверке теории дилатансии дал негативные результаты. При тщательных исследованиях в Южной Калифорнии замет-

ших» землетрясений) в конкретных геологических структурах, изменение скорости продольных волн перед землетрясением может сыграть роль одного из важных прогностических признаков.

Большие надежды при прогнозе землетрясений возлагаются на наблюдения движений земной коры. Насколько они обоснованы?

Действительно, имеются довольно многочисленные наблюдения по аномальным движениям земной коры перед, в ходе и после сильных землетрясений. Однако сколько-нибудь уверенно использовать аномальные движения земной коры для точного прогноза землетрясения пока не представляется возможным. Например, такие движения были установлены перед

землетрясением Мацусиро за 8 лет, Футацуи — за 13 лет, Ниигата — за 14 лет, Аляскинским — более чем за 40 лет и т. д. Аномальные движения земной коры далеко не всегда завершаются землетрясениями. Так, в 1970 г. произошел резкий подъем земной коры в Неаполитанском заливе. В предвидении сильного землетрясения началась спешная эвакуация населения г. Поццуоли. Минуло 8 лет, а сильного землетрясения здесь так и не произошло. Есть и обратные примеры, когда перед разрушительными землетрясениями заметных аномальных движений земной коры не было.

На основании быстрого поднятия земной коры по разлому Сан-Андреас было предсказано, что в течение года (июнь 1976 — июнь 1977) здесь произойдет VIII—IX балльное землетрясение (магнитуда 5,5—6,5). Прогноз не оправдался.

Известно много случаев, когда знак движения земной коры быстро изменяется, а землетрясения не происходят. При кратковременных наблюдениях (годы) пульсирующие движения легко принять за предвестников землетрясений. Сторонники прогноза землетрясений по этому признаку почему-то упускают из виду, что движения земной коры на асейсмичных платформах нередко имеют большие средние скорости, чем в активных орогенических зонах.

Как видно, признак этот ненадежный и пока не имеет прикладного значения.

В связи с Ташкентским землетрясением в печати появились сообщения о возможности предсказания времени землетрясения по изменению режима и гидрохимии подземных вод. Насколько надежен этот метод?

Изменения в режиме подземных вод, в том числе и гидрохимические, в ходе землетрясений, иногда перед землетрясением, давно известны и наблюдались на громадных площадях — до сотен, а иногда и тысяч километров от эпицентра, в том числе и в районах, где данное землетрясение едва ощущалось или совсем не ощущалось людьми. Например, при катастрофическом Аляскинском землетрясении 27 марта 1964 г. изменение режима подземных вод зарегистрировано на расстоянии до 4500 км от эпицентра. При Муйском землетрясении 27 июня 1957 г., происшедшем в Становом нагорье, в г. Чите, в 500 км от эпицентра, уровень воды в глубоких скважинах повысился на 2 м, а дебит воды увеличился с 60 до 100 м<sup>3</sup>.

При Моготском землетрясении 5 января 1967 г. в МНР отмечено изменение режима Питателевского источника у Байкала (520 км от эпицентра). Гидрогеохимические аномалии при Газлийских землетрясениях были зафиксированы в районе Ташкента на расстоянии около 500 км.

При Ташкентском землетрясении в 1966 г. было отмечено, что изменение концентрации радона иногда закономерно сочеталось с сейсмическими толчками по схеме: рост — спад — рост — толчок — рост. Однако толчки происходили и на первом спаде. Поэтому исследователи подчеркивали, что эти данные являются предварительными и нуждаются в тщательной проверке. К сожалению, со временем сомнительные стороны явления были забыты.

В последнее время много говорится об удачных прогнозах землетрясений по колебаниям уровня воды в скважинах на Курильских о-вах. Однако здесь изменения режима подземных вод фиксировались даже при очень умеренных землетрясениях на расстоянии до 250—300 км, т. е. за границей осознания сотрясения. Поэтому в первой научной публикации правильно подчеркнуто, что «сейчас еще трудно оценить в полной мере эффективность этого способа»<sup>8</sup>.

Если же еще учесть положение Курильских о-вов, расположенных около самой сейсмоактивной зоны Земли, где, например, 22—25 марта 1978 г. произошло 14 очень сильных землетрясений с магнитудой от 6,2 до 8, то достоверность и особенно эффективность таких прогнозов становится более чем сомнительной.

Итак, гидрогеологические и гидрохимические «предвестники» землетрясений охватывают площади в сотни тысяч — миллионы квадратных километров, появляются они в разные сроки до землетрясения и не указывают ни места, ни силы назревающих толчков. Но нельзя же держать в сейсмической тревоге миллионы людей неопределенно долгое время. Это принесло бы бедствия, во всяком случае экономические, большие, чем само землетрясение.

В последнее время предпринимаются попытки возродить представления о

<sup>8</sup> Садовский М. А., Монахов Ф. И., Семенов А. Н. Гидрогеодинамические предвестники южно-курильских землетрясений. — Доклады АН СССР, 1977, т. 236, № 1.

связи землетрясений с «критическими параллелями» и о возможности прогноза землетрясений на основе закономерностей солнечно-лунных приливов. Насколько возможно использовать эти связи для прогноза землетрясений?

Утверждают, что большинство крупных землетрясений происходит на «критических параллелях» (экватор и зоны между 35—40° с. ш. и ю. ш.). В действительности же из семи землетрясений, относящихся по силе к «мировым сейсмическим катастрофам» (магнитуда по Рихтеру 7,9—8,6, сила до XI—XII баллов) только одно — Гибралтарское 28 февраля 1969 г. произошло в «критической зоне». Единственная на территории СССР с 1911 г. «мировая сейсмическая катастрофа» (для людей не имевшая никаких катастрофических последствий, так как произошла в незаселенной местности) — Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. — произошло также вне этой зоны. Самые мощные на нашей планете тихоокеанские сейсмические пояса, в которых выделяется около 9/10 сейсмической энергии Земли, как раз протягиваются поперек «критических параллелей».

Что касается прогнозов землетрясений на основе закономерностей солнечно-лунных приливов; то нужно отметить, что солнечно-лунные приливы в земной коре вызывают ничтожно малые напряжения (порядка  $10^{-2}$  бар) по сравнению с критическими. Кроме того, в зависимости от геологической ситуации очаговой зоны эти приливы могут не провоцировать землетрясения, а, наоборот, тормозить сейсмогенные движения или быть нейтральными. Эти положения, которых мы уже давно придерживались, получили в последнее время подтверждение в лунотрясениях. Как показали американские сейсмологические исследования на Луне, у тектонических лунотрясений периодичность отсутствует. Хотя они чаще происходят в момент максимальных или минимальных приливных напряжений, однако эти напряжения играют лишь роль спускового механизма<sup>9</sup>.

В свое время по солнечно-лунным приливам был сделан прогноз землетрясения в районе Байкала<sup>10</sup>. По прогнозу, в 1967 и 1968 гг. сильные землетрясения должны были произойти на северо-запад-

ной стороне впадины оз. Байкал, в юго-восточной стороне впадины землетрясений не предвиделось. В эти годы произошло 26 сильных землетрясений. Из них в северо-западной части ни одного, а юго-восточной — 18.

Таким образом, нередко случайные совпадения (при множестве сейсмических событий на Земле они возможны) выдаются за закономерности.

Итак, проблема предсказания всех трех составляющих землетрясения — точного места, силы и времени пока не решена. Однако мы научились определять практически самое важное — сейсмоопасные зоны, возможные в них сильные землетрясения и приблизительную их повторяемость. Такие прогнозные карты уже созданы для ряда высокоактивных областей, в том числе и для Байкальской рифтовой зоны, карта которой уже выдержала многолетнюю проверку. На основе прогнозных карт создаются карты сейсмического районирования. Такие карты в нашей стране после их утверждения Госстроем СССР становятся официальными государственными документами. Карты еще далеки от совершенства, но уже сегодня дают возможность в большинстве случаев планировать размещение новых территориально-производственных комплексов и промышленных узлов, а также развитие старых центров в оптимальных инженерно-сейсмогеологических условиях.

Значение предсказания времени землетрясений мне кажется вообще переоценивается. При катастрофических землетрясениях, особенно в горных районах, большая часть человеческих жертв и материальных потерь связана не с самими землетрясениями, а с обвалами, оползнями, селявыми потоками, земляными и каменными лавинами. Так погибло 180 тыс. человек (из 200 тыс.) при землетрясении в провинции Ганьсу в Китае в 1920 г. В 1949 г. под обвалами и земляными потоками погибло большинство населенных пунктов вместе с районным центром в Хаитском районе Таджикистана. При Перуанском землетрясении в 1970 г. г. Юнгей полностью и часть г. Ранрахирка с 18 тыс. человек погибли под обвалами. Таких примеров много. Представим себе, что время этих землетрясений было бы предсказано,

<sup>9</sup> Lamlein David R. Lunar seismicity and tectonics.—«Phys. Earth and Planet Interior», 1977, v. 14, № 3.

<sup>10</sup> Ламакин В. В. Байкальские землетрясения и лунно-солнечные приливы.—«Природа», 1966, № 9; он же. Периодичность байкальских землетрясений.—«Доклады АН СССР», 1966, т. 170, № 2.

но какова польза такого прогноза? Города и селения все равно погибли бы, погибли бы и люди, только не в помещениях, а на открытых площадках, где они искали бы спасения. Поэтому я считаю, что в программы исследований по прогнозу землетрясений должен быть включен четвертый элемент — инженерно-сейсмологический прогноз сопутствующих явлений<sup>11</sup>. Инженерно-сейсмологические следствия землетрясений чрезвычайно разнообразны — от мощных динамических и остаточных деформаций земной коры, до разжижения грунтов и обвалов, развивающихся на «воздушной подушке» скорость свыше 400 км/час и перелетающих через горы высотой до сотен метров.

На современном этапе реален прогноз места, силы землетрясений и сопутствующих явлений. Уже сейчас сейсмологи, геологи, инженеры-геологи и геофизики коллективными усилиями могут с довольно высокой долей достоверности дать такой прогноз, а строители могут возводить сооружения, устойчивые при землетрясениях до девяти баллов. Жизненно важно не предсказать точное время, когда будет разрушен город, а построить его там и так, чтобы он не был разрушен. А это уже в наших силах.

В последние годы было допущено много ошибок в прогнозировании землетрясений. Их надо быстро и решительно исправлять. Стремительный рост городов, строительство потенциально опасных сооружений не оставляют нам права на неоправданные ошибки, хотя и впредь ошибки, обусловленные объективными причинами, еще неизбежны.

В настоящее время в проблеме предсказания землетрясений первостепенное значение имеет сепарация огромного количества фактов на случайные, несомненные и непрменные. Для этого необходим длительный, кропотливый труд хорошо организованных научных коллективов сейсмологов, геологов, геофизиков, геохимиков и др. специалистов. Необходима сеть прогностических полигонов, охватывающая все основные сейсмогеологические типы активных зон, и контрольные — за их границами.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Медведев С. В., Шебалин Н. В.** С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ МОЖНО СПОРИТЬ. М., 1967.

**Мячкин В. И.** ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.— «Земля и Вселенная», 1978, № 6.

ПОИСКИ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. Международный симпозиум 1974 г. Ташкент, 1976.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ. М., 1968.

**Рейснер Г. И.** ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.— «Земля и Вселенная», 1978, № 6.

**Солоненко В. П., Хромовских В. С.** МОЩНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА.— «Природа», 1974, № 6.

**Солоненко В. П.** СЕЙСМОГЕОЛОГИЯ И ПРОБЛЕМА ПРЕДСКАЗАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.— «Геология и геофизика», 1974, № 5.

**Солоненко В. П.** ШРАМЫ НА ЛИКЕ ЗЕМЛИ.— «Природа», 1970, № 9.

**Садковский М. А.** ПРЕДСКАЗАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.— «Земля и Вселенная», 1978, № 6.

**Соболев Г. А.** ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ.— «Земля и Вселенная», 1978, № 6.  
ШАГИ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В США.— «Природа», 1978, № 11.

<sup>11</sup> Solonenko V. P. Seismogenic destruction of mountain slopes.— In: Intern. Geol. Congr., XXIV Sess. Montreal, 1972; Landslides and collapses in seismic zones and their prediction. Intern. Geol. Congr., XXV Sess. Sydney, 1976; «Bull. of the Intern. Ass. of Engineering Geol.», 1977, № 15.

## Физика токамаков

К 70-летию со дня рождения Л. А. Арцимовича (25.II.1909 — 1.III.1973)

Б. Б. Кадомцев



Борис Борисович Кадомцев, академик, директор отделения плазменных исследований Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Основные работы посвящены физике плазмы и проблеме управляемого термоядерного синтеза. Занимался также вопросами устойчивости радиационных поясов Земли, исследованием нелинейных волновых процессов, поведения тяжелых атомов в сверхсильном магнитном поле. Лауреат Государственной премии.

Токамак — слово, явно неблагозвучное для русского уха, в зарубежных физических лабораториях считается термином чисто русского происхождения, оно вошло в международный научный лексикон так же, как, скажем, «спутник» или «эффект Черенкова».

Слово токамак было предложено И. Н. Головиным и Н. А. Явлинским, которые, начав в 50-х гг. исследования по управляемым термоядерным реакциям, избрали для этой цели вакуумную камеру в форме бублика, внутри которой с помощью мощного газового разряда они создавали нагретый до очень высокой температуры газ — высокотемпературную плазму. Для стабилизации плазмы использовалось сильное продольное магнитное поле. От первых слогов названий основных компонентов установки — ТОроидальная КАмера с МАГнитным полем — и было образовано слово токамак.

В начале 60-х гг. исследованиями на токамаках занялся академик Лев Андреевич Арцимович — выдающийся советский физик, известный к тому времени важными работами по физике элементарных частиц, квантовой механике, электронной оптике, по электромагнитному разделению изотопов. Л. А. Арцимович угадал в токамаках очень перспективное направление

для получения и длительного устойчивого удержания высокотемпературной плазмы. В такой плазме при хорошей теплоизоляции могут быть достигнуты условия, необходимые для протекания контролируемой термоядерной реакции — той самой реакции, которая служит источником энергии Солнца и в форме огромного взрыва осуществляется в водородной бомбе.

Под руководством Л. А. Арцимовича на токамаках был проведен большой цикл исследований, результаты которых были им подытожены и сообщены научной общественности. Эти результаты оказались всем настолько привлекательными, что токамаки расселились буквально по всему свету, и сейчас насчитываются десятки таких установок во многих лабораториях мира. Широкий фронт работ на токамаках выявил огромное число сложных и интересных физических явлений, протекающих в высокотемпературной плазме. Об основных из этих явлений нам и хотелось бы рассказать читателям «Природы».

### ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ

Внешне токамак похож на большой трансформатор. У него есть железный замкнутый сердечник и первичная обмот-

ка, по которой пропускают переменный электрический ток, обычно путем разряда конденсаторной батареи. В качестве вторичной обмотки служит один единственный замкнутый виток вакуумной камеры. Вначале эта камера заполняется дейтерием (тяжелым водородом) при низком давлении. При разряде батареи в камере появляется вихревое электрическое поле, которое приводит к пробоем газа, его ионизации и нагреву до высоких температур. Это может напоминать действие лампы дневного света, но в гораздо более внушительных масштабах. Например, в крупном токамаке Т-10 Института атомной энергии им. И. В. Курчатова ток в плазме достигает шестисот тысяч ампер, а сама плазма имеет объем около четырех кубических метров<sup>1</sup>. Плазма с током большой силы оказывается устойчивой только в том случае, если для ее стабилизации используется сильное магнитное поле. Этот способ стабилизации, предложенный много лет назад В. Д. Шафрановым, стал неотъемлемой составной частью токамака: все токамаки имеют катушки, создающие сильное продольное магнитное поле.

Под действием тока плазма нагревается до очень высокой температуры — в больших установках более 10 млн град (напомним, что температура в центре Солнца составляет около 20 млн град).

При такой температуре и сравнительно низкой плотности плазмы (около  $10^{14}$  частиц/см<sup>3</sup>) образующие ее частицы (ионы и электроны) очень редко сталкиваются между собой — они могут пролетать сотни метров между последовательными столкновениями. Это значит, что каждая отдельная частица очень долго летит в магнитном поле, не зная о существовании других частиц, и только редкие столкновения «напоминают» ей о существовании соседей. Таким образом, поведение частиц плазмы зависит, в первую очередь, от «качества» магнитного поля токамака, от его способности выполнять роль магнитной ловушки.

Что же представляет из себя это поле? Оно складывается из поля тока, протекающего по плазме, и поля катушек. Поле тока имеет силовые линии в виде колец вокруг плазменного витка. Линии поля катушек тоже имеют вид замкнутых колец, но не вокруг плазменного витка, а вдоль него. Таким образом, силовые ли-

нии суммарного поля образуют спирали, которые навиваются на вложенные друг в друга тороидальные поверхности, называемые магнитными. В сильном магнитном поле заряженные частицы движутся в основном вдоль его силовых линий по спиральным траекториям. Ясно, что когда силовые линии аккуратно выстроены вдоль своих магнитных поверхностей, частицы также должны вести себя вполне «благопристойно» — они будут бегать вдоль силовых линий около «своих» поверхностей, возле которых испытали последнее столкновение. Что же касается столкновений, то они могут перебрасывать частицы с одной спиральной траектории на другую на расстоянии порядка ширины спирали, т. е. не должны приводить к существенным поперечным смещениям. Для заряженных частиц в заданном магнитном поле траектории могут быть рассчитаны; следовательно, могут быть рассчитаны и поперечные потоки частиц, связанные с их столкновениями. Такая теория была развита А. А. Галеевым и Р. З. Сагдеевым, она получила название неоклассической (ее новизна, выраженная приставкой «нео», была связана с более точным учетом реальных траекторий частиц в искривленном поле токамака, а слово «классическая» имеет в физике плазмы смысл учета только парных столкновений, а не более сложных коллективных взаимодействий из-за неустойчивостей).

Как показал эксперимент, ионы ведут себя в полном соответствии с этой теорией. Их столкновения между собой приводят к тому, что более «горячие», т. е. высокоэнергетичные ионы выходят из центральных областей к периферии, осуществляя тем самым перенос тепла к стенкам. Величина этого переноса хорошо согласуется с расчетной.

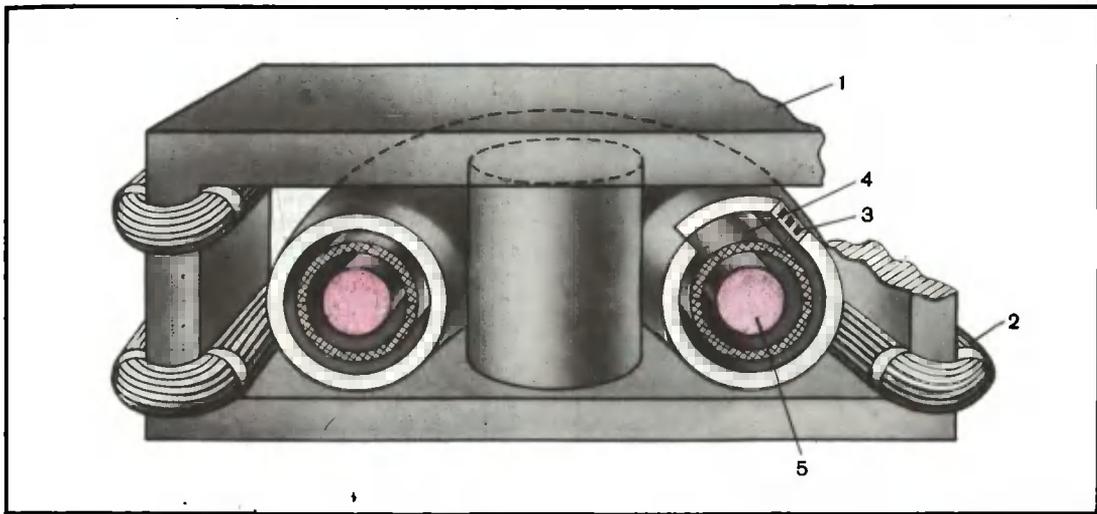
Что же касается электронов, то они, как это было показано в первом анализе экспериментальных данных Л. А. Арцивичем, отказываются подчиняться неоклассической теории. Согласно этой теории, электронный перенос тепла должен быть в десятки раз меньше ионного (из-за того, что электронные траектории-спирали гораздо уже ионных). На самом же деле электронный перенос, как правило, больше ионного.

Это расхождение теории с экспериментом, которое имеет место для всех токамаков, наводило на мысль, что помимо столкновений электроны могут найти другие пути для выхода из внутренних областей ловушки к периферии. Если

<sup>1</sup> Более подробно о Т-10 см.: Стрелков в В. С. Исследования горячей плазмы на Токамаке-10. — «Природа», 1977, № 11, с. 72.

учесть, что тепловая скорость электронов в десятки раз больше тепловой скорости ионов, то естественно возникает вопрос, не преувеличена ли теорией надежность магнитной конфигурации, т. е. действительно ли магнитные силовые линии так хорошо «упакованы», что они лежат на не соприкасающихся между собой магнитных поверхностях. Как мы знаем, реальные физические процессы не всегда совпадают с идеализированными представлениями теоретиков; неудивительно, если бы это было так и в данном случае.

температуры происходит быстрая перестройка конфигурации магнитных полей во внутренней области. А именно, в области, примаыкающей к центру, развивается сначала малое винтовое искривление центрального плазменного жгута, которое затем увеличивается, и, наконец, во всей этой области происходит выворачивание магнитных поверхностей «наизнанку». Естественно, что при этом в центр попадает более холодная, а на периферию — более горячая плазма. Магнитные поверхности в этой области на время разру-



Основные элементы токамака. 1 — сердечник трансформатора; 2 — первичная обмотка; 3 — катушки продольного поля; 4 — вакуумная камера; 5 — плазма.

Одним из первых указаний на нарушение идеальной магнитной конфигурации в токамаке было экспериментальное обнаружение релаксационных пилообразных колебаний температуры электронов в центре плазменного шнура. Оказывается, что со временем она медленно нарастает, а затем по достижении некоторого предельного значения скачком падает, и далее этот процесс периодически повторяется. Любопытно, что на некотором расстоянии от центра температура, наоборот, резко подскакивает, а затем медленно спадает.

Подробный экспериментальный и теоретический анализ этого явления, получившего название внутреннего срыва, показал, что в момент резкого изменения

шаются — в них происходит обмен силовыми линиями, или, как принято говорить, перезамыкание силовых линий. Любопытно, что именно такой же процесс перезамыкания силовых линий в хвосте магнитосферы Земли приводит к полярным сияниям, а на Солнце процессы перезамыкания порождают хромосферные вспышки, которые служат источником космического излучения, опасного для космонавтов. Физическая природа всех этих явлений оказывается почти одной и той же<sup>2</sup>.

Иногда в плазме токамака развивается более грозное явление — неустойчивость срыва. Она более масштабна и приводит к выбросу энергии из плазмы вплоть до стенок вакуумной камеры. Эта неустойчивость была обнаружена К. А. Разумовой. Неустойчивость срыва, по всей вероятности, также связана с

<sup>2</sup> Сыроватский С. И. «Пересоединение» магнитных силовых линий в плазме. — «Природа», 1978, № 6, с. 84.

процессами перезамыкания, захватывающими в этом случае практически весь плазменный шнур. К счастью, существуют возможности создавать благоприятные условия для разряда, когда неустойчивость срыва отсутствует. Одно из главных условий этого — снижение до минимума загрязнения дейтериевой плазмы посторонними примесями. Другой способ стабилизации неустойчивости срыва был продемонстрирован недавно в Институте атомной энергии на установке ТО-1. Он состоит в использовании системы обрат-

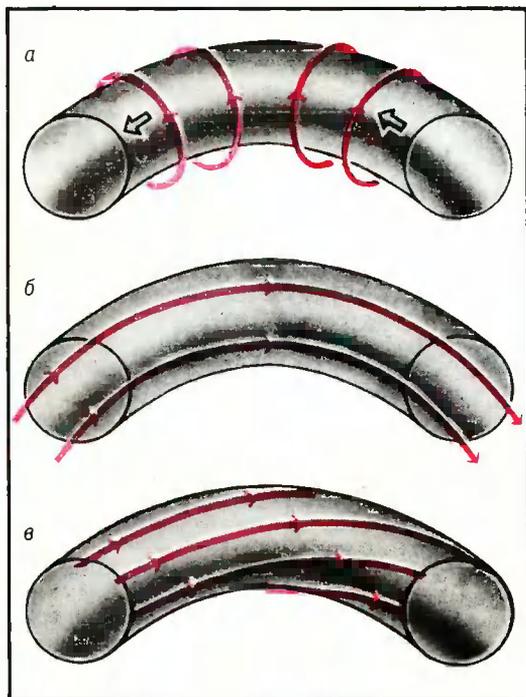


Схема образования магнитного поля. а — поле тока (токи показаны черными стрелками); б — продольное поле; в — суммарное магнитное поле.

ных связей, которые гасят возмущение магнитных поверхностей, так сказать, на корню, т. е. раньше, чем они успевают развиться до крупномасштабного срыва. Но кроме этих сильных возмущений магнитного поля, возможно, существуют еще малые дрожания магнитных поверхностей. Все, наверное, хорошо знают, как даже слабый ветерок заставляет трепыхаться листья осины. Раскачка таких колебаний называется флаттером. Похоже, что и у магнитных поверхностей токамака под

воздействием неспокойной плазмы возникает магнитный флаттер. Поверхности колеблются, касаясь друг друга, и при этом электроны имеют возможность перескочить с одной поверхности на другую. По-видимому, именно магнитный флаттер и приводит к повышенному теплопереносу электронов.

## ПЛАЗМА В ТЕРМОЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Что же следует из всего этого для решения основной проблемы — достижения условий, при которых возможна управляемая термоядерная реакция? В наиболее «горючей» смеси тяжелых изотопов водорода — дейтерия и трития — термоядерное пламя «вспыхивает» при температуре выше 50 млн град. А для того чтобы при термоядерном «горении» энергии выделялось больше, чем ушло на подогрев смеси, необходимо выполнение следующего условия: произведение плотности плазмы  $n$  на время удержания энергии в плазме  $\tau_E$  должно превышать некоторое определенное значение:  $n\tau_E > 10^{14}$ . В современных установках типичные значения  $n$  составляют около  $10^{14}$  частиц/см<sup>3</sup>. Примерно такой же величиной оценивается плотность плазмы в будущих термоядерных реакторах, так что время удержания энергии  $\tau_E$  должно будет достигать одной секунды (или несколько больше).

На самом крупном советском токамаке Т-10 достигнута величина  $\tau_E = 0,06$  с, что, как видно, значительно меньше «реакторного» значения. Однако последний факт мало волнует физиков. Дело в том, что и из теории, и из многочисленных экспериментов на разных токамаках твердо установлено, что величина  $\tau_E$  очень быстро возрастает с увеличением размера плазмы:  $\tau_E \sim a^2$ , где  $a$  — малый радиус плазменного «бублика». Другими словами, для достижения нужного значения  $\tau_E$  (при фиксированной плотности) достаточно, чтобы реактор имел размеры в четыре-пять раз большие, чем Т-10. Для промышленного реактора это вполне разумные размеры.

Нужное значение величины  $n\tau_E$  можно пытаться получить и другим способом: не увеличивая существенно размеры установки и  $\tau_E$ , можно увеличивать плотность. Однако повышение плотности не дается даром — чтобы плазменный шнур был устойчивым, одновременно с плотностью приходится увеличивать

силу протекающего по плазме тока и напряженность стабилизирующего магнитного поля. На небольшой американской установке «Алкатор» (с радиусом плазмы всего лишь около 10 см) были проведены эксперименты при очень сильном магнитном поле (около 90 кГс). При этом удалось поднять плотность выше  $10^{15}$  частиц/см<sup>3</sup> и получить значение  $n_{TE} = 3 \cdot 10^{13}$ . Это всего лишь втрое меньше, чем нужно для реактора, и поэтому не остается никаких сомнений, что в токамаках достаточно большого размера можно получить необходимое значение  $n_{TE}$ . Температура в этих экспериментах была меньше реакторной — она составила около 10 млн град, но все же это, безусловно, очень высокая температура.

Температура плазмы — это, конечно, основной параметр, определяющий начало термоядерной реакции. Каковы же успехи и каковы надежды в этом отношении?

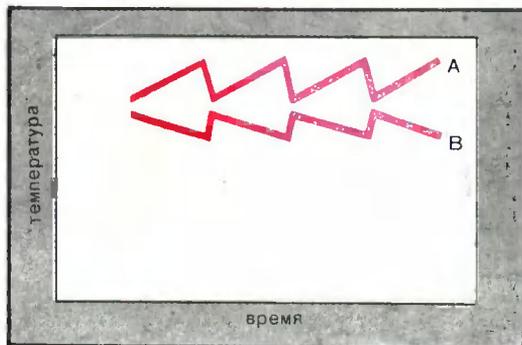
Длительное время в токамаках использовался только естественный способ нагрева — за счет джоулева тепла, обусловленного протекающим по плазме током. Тот самый ток, который служит средством для создания плазмы, а затем ее удержания (за счет магнитного поля тока) одновременно является «подогревателем». Плазма имеет, некоторое сопротивление  $R_0$ , и поэтому протекающий по ней ток силой  $I$  выделяет тепло с мощностью  $R_0 I^2$ . Это тепло подогревает плазму и компенсирует потери на охлаждение за счет теплопроводности.

В отличие от сопротивления обычных проводников сопротивление плазмы очень быстро уменьшается с температурой, и поэтому по мере роста температуры эффективность джоулева нагрева падает. С одной стороны, это хорошо: уменьшаются заботы по поддержанию вихревого электрического поля, необходимого для протекания постоянного тока. Но, с другой стороны, появляется новая проблема: для достижения температуры выше 10 млн град. нужно обеспечить дополнительный нагрев плазмы.

В последние годы методы дополнительного нагрева плазмы весьма интенсивно развивались и опробовались на разнообразных токамаках. Наиболее перспективными оказались два метода: нагрев высокочастотным электромагнитным полем и нагрев пучками нейтральных атомов.

Нагрев высокочастотным полем по своей идее сходен с применяющимися

в технике методами высокочастотной плавки или закалки металлов. Плазму можно, например, окружить витком, по которому пропускается ток высокой частоты. Такой виток (или петля с током) возбуждает в плазме электромагнитные волны. При соответствующем подборе частоты излучения и формы витка в плазму будет эффективно вводиться мощность электромагнитной волны, которая, поглощаясь, нагревает плазму. Этот метод нагрева подробно исследовался в Харьковском физико-техническом институте.

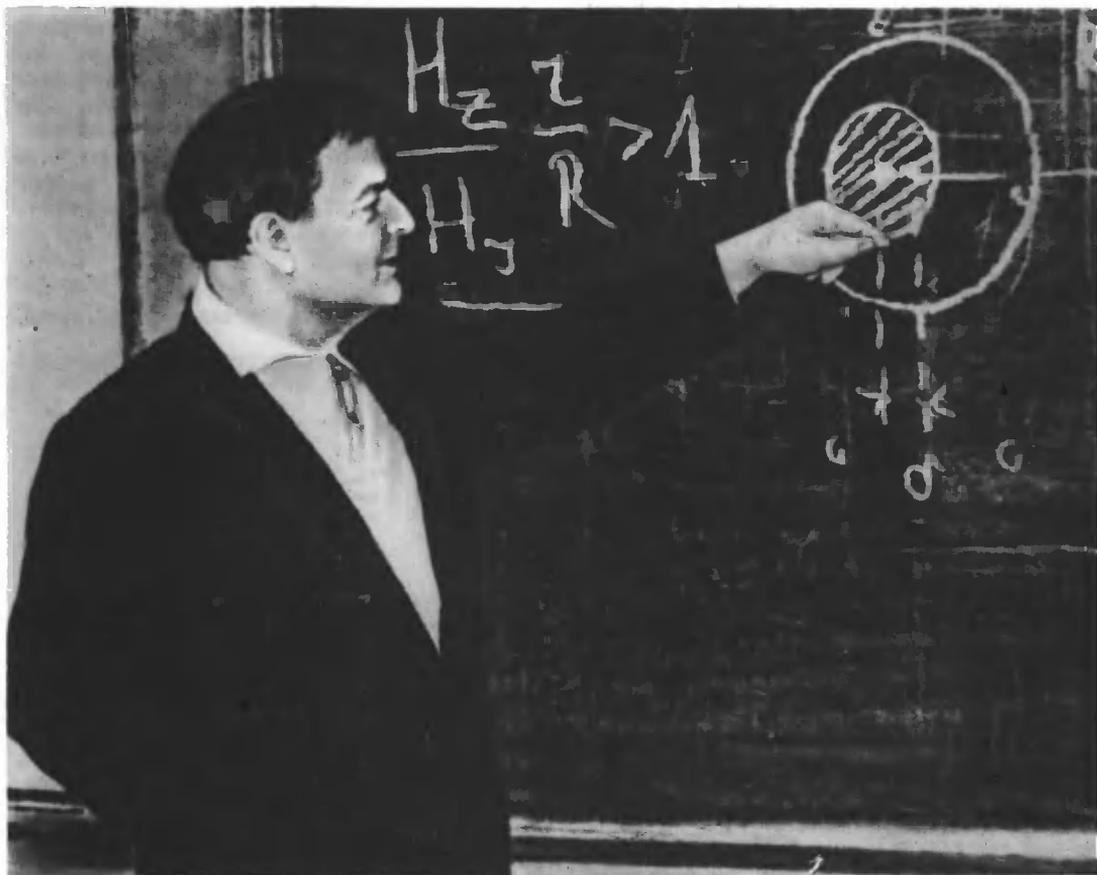


Внутренний срыв. На графике показана зависимость температуры электронов от времени в центре плазменного шнура [A] и в периферийной области — [B].

При очень высокой частоте волну можно вводить в плазму с помощью волноводов. Это, пожалуй, самый удобный способ. Оказывается, что если частота волны близка к циклотронной частоте электронов (с этой частотой электроны вращаются в магнитном поле), то волна очень хорошо поглощается в плазме и происходит эффективный ее подогрев.

Высокая эффективность нагрева плазмы такими волнами была показана экспериментами В. В. Алихаева в Институте атомной энергии. В небольшом токамаке ему удалось удержать электронную температуру плазмы. В этих экспериментах использовались гиротроны — новый тип генераторов сверхвысокочастотных волн, разработанный в Горьком под руководством А. В. Гапонова-Грехова.

Второй метод нагрева основан на использовании мощных пучков атомов водорода, ускоренных до высоких энергий. Проникая в плазму, такие атомы ионизируются и «застраивают» в ней, передавая электронам и ионам свою энергию.



Л. А. Арцимович на семинаре в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова.

Сами пучки формируются с помощью инжекторов — ускорителей заряженных частиц (протонов или нейтронов). Ускоренные протоны пропускаются через слой нейтрального газа, где они «обрастают» электронами и превращаются в нейтральные атомы. В настоящее время созданы очень мощные инжекторы — они дают ток протонов до 100 ампер при энергии 20—40 кэВ.

Новая техника не замедлила дать весьма интересные физические результаты. Сначала на французском токамаке ТФР и американском токамаке «ОРМАК» температура плазмы была утроена и достигла 20 млн град. А летом 1978 года крупный успех был достигнут американскими физиками в Принстоне. Используя инжекцию нейтральных частиц мощностью в 2 МВт, они достигли температуры 60 млн град. Эти эксперименты были про-

ведены на ПЛТ — принстонском токамаке такого же размера, что и Т-10.

Хотя величина  $nT_e$  в ПЛТ была не очень высокой (около  $10^{12}$ ), сам факт достижения реальной термоядерной температуры показывает, что в этом отношении у токамака нет принципиальных затруднений. Интересно, кроме того, что в этих экспериментах не было обнаружено ухудшающего влияния инжекции на удержание плазмы. Таким образом, перспективы этого метода для нагрева плазмы в будущих реакторах-токамаках весьма благоприятны.

Впрочем, и тот, и другой методы нагрева имеют свои преимущества: высокочастотный нагрев, например, является более «мягким» — он не подвергает стенку бомбардировке быстрыми частицами и поэтому меньше загрязняет плазму. Поэтому, вероятно, существует некоторое оптимальное соотношение между мощностями высокочастотного нагрева и нейтральной инжекции. По-

иски такого соотношения — цель будущих исследований.

Надо сказать, что по мере приближения к физической демонстрации управляемого термоядерного синтеза — а это дело ближайших нескольких лет — интересы физиков-исследователей все больше переключаются на поиски оптимальных параметров будущих термоядерных реакторов.

Один из таких параметров, например, — это напряженность магнитного поля. Величина поля — очень важный параметр установки, тем более что будущие реакторы должны иметь сверхпроводящие обмотки, а для работы сверхпроводника напряженность поля далеко не безразлична<sup>3</sup>. Хотелось бы упомянуть в этой связи, что недавно в Институте атомной энергии было успешно проведено испытание крупной тороидальной сверхпроводящей обмотки токамака Т-7. Поле этой обмотки вполне достаточно для экспериментов с плазмой, которые вскоре начнутся.

Другим важным параметром реакторной плазмы является ее давление (которое связано с плотностью и температурой простым соотношением:  $p = nT$ ) или, точнее говоря, отношение давления плазмы  $p$  к давлению магнитного поля  $B^2/8\pi$ . Это отношение обозначают

буквой  $\beta$ :  $\beta = \frac{p}{B^2/8\pi}$ . Для реактора эта величина должна быть не меньше 5% — иначе экономика реактора не будет достаточно благоприятной. Теория показывает, что значение  $\beta$  не может быть очень большим, так как при больших  $\beta$  плазма становится неустойчивой. Но теория вполне допускает величину  $\beta$  в 5—10%, достаточную для реактора. Конечно, было бы интересно проверить на эксперименте, каково предельное значение  $\beta$ . В настоящее время на советской установке Т-11, для отношения давлений плазмы и магнитного поля получена величина около 2—3%, и при этом устойчивость плазмы не ухудшается. Можно надеяться, что величину  $\beta$  удастся поднять до 5%, что достаточно для реактора.

Если в реакторе будет использовано магнитное поле, скажем, 50 кГс (т. е. примерно той же величины, что и на Т-10),

то это будет соответствовать давлению магнитного поля 10 атм. Давление плазмы при  $\beta = 5\%$  будет 5 атм, и при заданной температуре термоядерной плазмы это накладывает ограничение на ее плотность. Разумеется, при более высоких значениях напряженности магнитного поля можно было бы достигнуть больших плотностей, тем самым снизить требуемое значение  $T_E$  и, следовательно, размеры реактора.

Поиски оптимальных параметров плазмы токамака составляют часть обширной программы исследований на установках этого типа. Сюда относятся и исследования физических явлений, приводящих к переносу частиц и тепла поперек магнитного поля, и изучение методов дополнительного нагрева плазмы с помощью ускоренных пучков нейтральных атомов или СВЧ-радиоволн, и поиски методов контроля и снижения уровня примесей в плазме токамака, и изучение оптимальных магнитных конфигураций. Все это в целом приводит к быстрому росту наших знаний о свойствах высокотемпературной плазмы, а это, в свою очередь, — к улучшению параметров плазмы. Вспомним, что к настоящему времени получена температура ионов, равная 13 млн град. при джоулевом нагреве на Т-10 и 60 млн град. при дополнительном нагреве на американской установке ПЛТ. А для реактора требуется температура 70—80 млн град. На американской установке «Алкатор» получена максимальная величина параметра удержания  $nT\tau = 3 \cdot 10^{13}$ , что лишь в три раза не «дотягивает» до перехода в реактор-

ную область. Величина  $\beta = \frac{p}{B^2/8\pi}$  тоже только раза в три меньше реакторного уровня.

В связи с быстрыми темпами исследований на токамаках намечено и производится строительство целого ряда крупных установок такого типа. Недавно в США введен в строй самый крупный токамак «Дублет-3», строятся крупные токамаки ТФТ (США), ДЖЕТ (Европа), ДЖИ-ТИ-60 (Япония). Разработан проект крупной термоядерной установки и в нашей стране — это Т-10М. В ближайшее время начнется строительство этой установки. Все эти установки должны привести нас в область плазмы с реально термоядерными параметрами, но не исключено, что здесь мы встретимся со своими специфическими (или видоизмененными) физическими явлениями. Для физиков здесь еще много интересного.

<sup>3</sup> Башкиров Ю. А. 10 лет Международной научной лаборатории во Вроцлаве. — «Природа», 1978, № 5, с. 34.

## Видимые и невидимые границы в океане

К. Н. Федоров



Константин Николаевич Федоров, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией экспериментальной физики океана Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист по гидротермодинамике океана. Участник многих морских экспедиций на научно-исследовательских судах АН СССР. В последние годы занимается исследованиями океанических фронтов. Президент Международного научного комитета по исследованиям океана. Автор книги: Тонкая термохалинная структура вод океана. Л., 1976.

Можно ли разделить жидкую воду океана на части, не ставя перегородок, не воздвигая плотин или не сооружая бассейнов? Здравый житейский смысл и инженерная логика говорят нам, что нельзя. «Нельзя!» — спешат подтвердить поэты и прозаики, с незапамятных времен хором утверждавшие, что океан безграничен. «Можно!» — возражают юристы и дипломаты и делают (уже который год!), вооружившись картами и атласами, «безграничный» океан на рыболовные, экономические и иные зоны. Впрочем, географы уже давно поделили всю гидросферу Земли (или Мировой океан) на отдельные океаны, моря и заливы, границы которых должен знать каждый студент географического факультета, что, однако, не делает эти границы менее условными.

С давних времен океанологи пытались внести разумный порядок в бесконечное разнообразие температурных, цветовых и химических особенностей вод, встречающихся в различных частях Мирового океана. Так родилась концепция «водной массы». Представляли себе некие большие по объему и однородные по свойствам массы воды, формирующиеся в специфических условиях того или иного района океана и ограниченные воображаемыми жидкими границами с резкими перепадами (или градиентами) физических

и химических характеристик. Отсюда, по аналогии с воздушными массами, казалось бы, можно было начать говорить и о перемещении водных масс. Но тут аналогия кончалась, и концепции противоречили друг другу. Границы воздушных масс — атмосферные фронты — послушно (или не очень) перемещались вместе с воздушными массами. В океане же границы между водными массами (по крайней мере, известные границы) «предпочитали оставаться на месте». По аналогии с атмосферой, но с большим основанием, им дали постоянные названия: «полярный фронт», «субтропическая конвергенция», «субарктический фронт» и т. д. и указали их положения на картах Морского Атласа. Констатация привычных положений этих границ раздела на основе результатов экспедиционных работ стала для некоторых ученых темой научных трудов на много лет.

Я хорошо помню, как в 1957 г. во время 25-го рейса научно-исследовательского судна «Витязь» по программе Международного геофизического года мы, участники экспедиции, буквально негодовали по поводу того, что одна из границ — кажется, «субтропическая конвергенция» в Тихом океане — оказалась немножко южнее своего «штатного» места. В конце концов решили, что это была случайность.

Потребовалось около пятнадцати лет, чтобы понять:

что изменчивость физических условий в океане — это не случайность, а закономерность и что во многих случаях важнее и полезнее изучать изменчивость, т. е. отклонения от среднего состояния, нежели само среднее состояние;

что физическим явлениям одного масштаба в атмосфере соответствуют явления другого масштаба в океане, а причина такого различия — иная вязкость, иная плотность и иная толщина слоя воды в океане по сравнению с воздухом в атмосфере;

что в отличие от атмосферы, которая нагревается снизу (от поверхности Земли, нагреваемой Солнцем), океан нагревается сверху (непосредственно солнечной радиацией). В результате, атмосфере в большей степени свойственна гидростатическая неустойчивость, нежели океану, который в среднем всегда гидростатически устойчив;

что боковые границы (т. е. берега) в океане влияют на движение вод и распределение физических характеристик несравнимо больше, чем орографические эффекты континентальных горных массивов и цепей на движение в атмосфере.

Поэтому лишь недавно стало ясно, что, если в океане имеются вихри, подобные атмосферным циклонам и антициклонам, они должны иметь характерный пространственный масштаб в 10 раз меньший, чем в атмосфере, т. е. примерно 100 км вместо 1000 км.

После этого методическая стратегия и тактика экспедиционных работ гидрофизиков в океане были резко изменены, оказалось, что в Мировом океане не меньше антициклонических и циклонических вихрей, чем в атмосфере. Оказалось также, что с этими вихрями, как и в атмосфере, связаны свои мезомасштабные фронтальные разделы, которые раньше никто систематически не изучал, поскольку прежние исследования были в основном нацелены на описание крупномасштабных особенностей среднего физического состояния океана. Ну и, конечно же, оказалось, что вихри и связанные с ними фронты движутся в океане, но, однако, по законам, отличным от законов перемещения атмосферных вихрей.

Впервые границы океанических вихрей на поверхности океана наблюдали рыбаки. По свидетельству японского океанографа М. Уды, они давно заметили своеобразные границы раздела на поверх-

ности океана, которые в спокойную погоду хорошо видны по скоплениям плавающего мусора, пены и живущих на поверхности организмов. Кроме того, оказалось, что вблизи них лучше ловится рыба. Часто над фронтами можно наблюдать стаи кормящихся птиц.

Поверхностные течения как бы сходятся с обеих сторон вдоль линии фронта, которую поэтому называют линией конвергенции — схождения. Вдоль этой линии воды течения опускаются в глубину, а принесенный плавучий материал остается собранным в длинную полосу, простирающуюся от горизонта к горизонту. Часто на этих полосах видна чрезвычайно крутая рябь, которая делает контраст полосы с окружающей водой еще более резким. Иногда эта рябь покрыта белыми гребешками, которые, разрушаясь, издают сильный шипящий звук, слышимый издали с проходящих кораблей.

Рябь возникает в связи с очень сильными течениями, которые развиваются в узкой полосе, непосредственно примыкающей к границе раздела там, где последняя выходит на поверхность. По обе стороны фронта течения могут быть направлены в противоположные стороны, и там, где течение идет против ветра, образуется эта очень крутая «шипящая» рябь. Противоположные течения могут способствовать также образованию мелких водоворотов и «воронков», в которые вода затягивается с характерным булькающим звуком, сливающимся с шипением ряби. Моряки свидетельствуют, что противоположно направленные течения вблизи фронтов сбивают с курса даже относительно крупные суда, а в некоторых случаях (при пересечении фронта под углом) скорость кораблей меняется скачком на значительную величину.

Фронты отделяют более теплые воды от более холодных или более соленые воды от более пресных. Если по одну сторону фронта находятся более соленые и холодные воды, а по другую — более теплые и пресные, то градиент плотности поперек фронта может быть весьма велик, и такой фронт приобретает особую остроту. Ширина наиболее резких фронтальных зон, видимых на поверхности океана, может колебаться от 50 до 500 м, и чем сильнее перепад плотности через фронт, тем он, как правило, уже и резче в своих поверхностных проявлениях. Соленосные фронты, отделяющие распресненные прибрежные воды, образующиеся



Аэрофотография полосы пены и плавающего материала вдоль линии фронта в Саргассовом море. Из: «Deep—Sea Res», 1969, v. 16, p. 331—337.

вследствие стока в океан крупных рек, вроде Амазонки, Ла Платы или Ганга, от более соленых вод открытого океана, обычно много резче температурных фронтов. Это связано с тем, что плотность морской воды сильнее зависит от солености, нежели от температуры, а также с тем, что соль диффундирует в воде много медленнее, чем тепло.

Не следует представлять себе фронты в океане в виде неких вертикальных перегородок. Границы раздела между жидкостями разной плотности не могут быть вертикальными из-за того, что в первую очередь сила тяжести будет стремиться переместить более легкую жидкость так, чтобы она располагалась над более тяжелой. Фронты в океане всегда наклонны. Наклоны океанических фронтов к горизонту обычно очень малы: это — градусы или доли градуса. В очень редких случаях в открытом океане наблюдаются фронты, углы наклона которых к горизонту достигают десятков градусов. Американский ученый Дж. Кнаусс в 1957 г. описал наблюдавшийся им в океане фронт, тангенс угла наклона которого,

судя по опубликованным данным, достигал 3. Тангенс угла наклона фронтов  $\alpha$  связан с перепадами через фронт плотности воды  $\Delta\rho$  и скорости течения  $\Delta u$  и выражается формулой, называемой формулой Маргулеса:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega \sin \varphi \cdot \rho \cdot \Delta u}{g \Delta \rho}$$

В ней  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли,  $\varphi$  — широта места,  $g$  — ускорение силы тяжести. Формула Маргулеса неоднократно проверялась в атмосфере, и ее физический смысл заключается в том, что в стационарном случае, когда фронт стабилизировался и движение воды относительно фронта не меняется во времени, равновесие поддерживается за счет такого распределения скоростей движения (направленного вдоль фронта), при котором ускорение за счет поперечного градиента давления всюду полностью балансируется кориолисовым ускорением. Из формулы Маргулеса следует, что при  $\Delta u \approx 1$  м/сек (это бывает, хотя и нечасто) и  $\Delta \rho \approx 10^{-4}$  г · см<sup>-3</sup> (это обычный порядок величин для  $\Delta \rho$ ),  $\operatorname{tg} \alpha$  должен быть порядка  $10^{-1}$ . Очевидно, случай, наблюдавшийся Кнауссом, относился к сугубо нестационарным условиям.

Причин для возникновения фронтов в океане много.

Общий знаменатель их генезиса связан с тем, что неоднородные по глубине и по горизонтали воды океана не текут равномерным и однородным потоком в одном каком-либо направлении. Возмущения, вносимые в их движение берегами, подводным рельефом, взаимодействием с атмосферой, а также внутренней неустойчивостью — стремлением двигаться завихренно на вращающейся Земле — все это неизбежно приводит к сближению в различных частях океана разнородных масс воды и к возникновению границ раздела между ними.

Почему, однако, при этом образуются резкие границы раздела вместо простого и естественного перемешивания сблизившихся вод друг с другом? Почему наблюдаемые в океане границы водных масс — фронты — существуют длительное время, а в случае крупномасштабных климатических особенностей вообще обладают завидным пространственно-временным постоянством?

Для меня этот вопрос связан с воспоминаниями далекого детства. Семилетним мальчиком отец привел меня на мост над Волгой в г. Горьком и показал, как долго

текут, не смешиваясь между собой, мутные светлые воды Оки и темные прозрачные воды Волги. Граница раздела была резкой и тянулась вниз по течению несколько хватало глаз. Впечатление это было настолько сильным, что спустя пятнадцать лет, будучи студентом, я выбрал проблему исследования динамики речного стока в океан в качестве своей курсовой работы. Моя первая проба сил в этом вопросе не произвела впечатления на преподавателя, который посчитал проблему тривиальной и поставил мне «двойку». Я вернулся к этому вопросу много позже, когда, рассматривая цветные фотографии океана, сделанные космонавтами с орбитальных станций, увидел в океане резкие границы мутных речных вод, простирающиеся на сотни километров в открытое море. К этому времени ряд фундаментальных закономерностей процессов перемешивания в стратифицированной по плотности жидкости был выяснен путем простых лабораторных экспериментов, результаты которых появились в печати в середине 50-х годов.

Всякий знает, что две несмешивающиеся жидкости (например, вода и масло) имеют обычно четкую границу раздела. Причем, сила тяжести позаботится о том, чтобы, находясь в одном сосуде, более тяжелая жидкость всегда была внизу, а более легкая — наверху. Но можно осторожно налить в сосуд и две смешивающиеся жидкости с различным удельным весом так, чтобы они при этом не смешивались. Например, если раствор поваренной соли с высокой концентрацией по всем правилам экспериментальной техники налить в раствор той же самой соли с низкой концентрацией, то более концентрированный раствор (который можно подкрасить) расположится в нижней части бассейна, а более легкий — в верхней (как на одном из наших рисунков), а граница между ними на какое-то время останется очень резкой. Со временем молекулярная диффузия, конечно, размывает эту границу, но диффузия соли протекает очень медленно, и потребуются 15—20 часов, чтобы слой диффузии расширился до толщины 1 см. А чтобы оба слоя смешались друг с другом до полной однородности путем молекулярной диффузии потребуются время, измеряемое десятками дней.

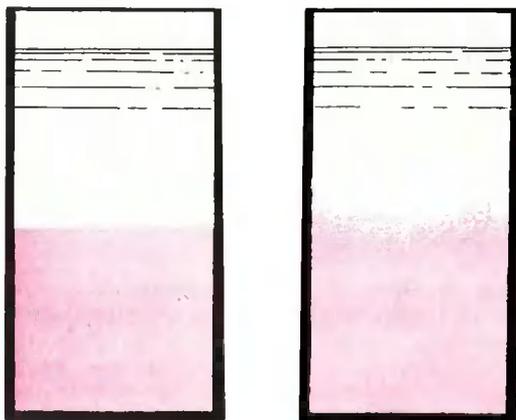
Если же «для ускорения процесса» в каждый слой поместить по мешалке с лопастями и начать вращать ось, на которую эти мешалки насажены, как ни

странно, первоначально размытый диффузией пограничный слой между растворами снова станет тонким и четким. Оставшимся мешалки, и граница раздела через некоторое время снова размоется под действием молекулярной диффузии, включим мешалки — граница снова станет резкой. Если оставить мешалки работать непрерывно, то через некоторое время мы заметим, как постепенно окрашивается верхний слой. Краска переходит в него из нижнего слоя вместе с солью через поверхность раздела, которая все время остается тонкой и четкой. Граница исчезнет только тогда, когда концентрации выровняются по обе стороны. Этот неожиданный результат связан со своеобразным «разделением труда» между турбулентностью, генерируемой мешалками в обоих слоях, и молекулярной диффузией. Именно последняя «перетаскивает» соль (и краску) через поверхность раздела, где вертикальный градиент концентрации слишком высок (почти бесконечен, так как толщина границы раздела стремится к нулю) и где турбулентность практически бессильна против архимедовых сил.

Турбулентности же остается перераспределять перетасченные и остающиеся молекулы соли (и краски) до полной однородности внутри каждого из двух слоев соответственно. Это своеобразное сотрудничество турбулентности с молекулярной диффузией называется турбулентным вовлечением. При таком процессе полное выравнивание концентраций между двумя слоями происходит значительно быстрее, чем при одной диффузии. Эксперимент дает аналогичный результат, если поместить мешалку в один лишь верхний или нижний слой.

Эксперимент, о котором только что рассказано, имеет прямое отношение к океану, хотя, казалось бы, от лабораторного стеклянного бассейна емкостью в несколько десятков литров очень далеко до океанских просторов и глубин. Во-первых, как мы видели выше, стационарное состояние фронта как в атмосфере, так и в океане связано с наличием существенного перепада скорости между течениями по обе стороны фронта. Большой градиент скорости (или «сдвиг», как его называют в гидродинамике) порождает турбулентное перемешивание, которое всегда будет стремиться поддерживать границу в поле плотности в обостренном состоянии. Таким образом, фронт, однажды возникнув, будет иметь на вращаю-

щейся Земле тенденцию к самосохранению и обострению. Если при этом адвективный эффект течений поддерживает, а не разрушает перепад плотности через фронт, то последний может сохраняться очень долгое время. Во-вторых, поверхность океана практически везде находится под непрерывным перемешивающим воздействием волн и ветра. Их действие эквивалентно работе миллионов гигантских мешалок. В результате у поверхности океана развивается однородный по вертикали перемешанный слой, толщина которого

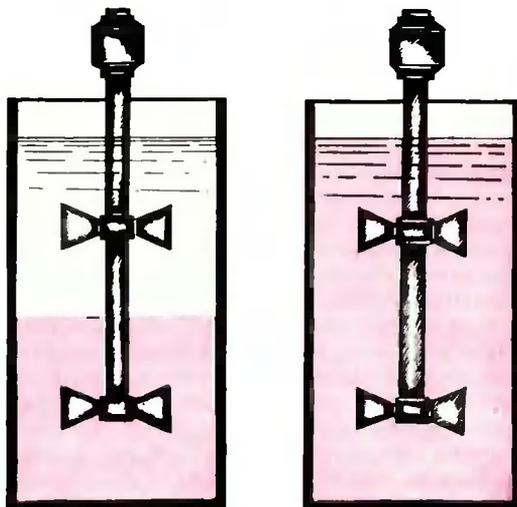


Двухслойная система растворов сразу же после заполнения сосуда [слева] и после нескольких десятков часов действия диффузии.

колеблется от сезона к сезону и тем больше, чем сильнее ветер. Зимой в умеренных и субтропических широтах этот слой может достигать стометровой толщины. Температура и соленость в этом слое во время работы ветра бывают столь однородными, что только очень чувствительными приборами (турбулиметрами) можно зарегистрировать мелкие высокочастотные флуктуации измеряемых величин относительно их средних значений. Снизу слой ветрового перемешивания ограничен очень резкими вертикальными градиентами температуры, солености и плотности. Океанографы называют эту резкую границу «слоем скачка». Она тем резче и тоньше, чем сильнее перемешивание в верхнем слое, в полном соответствии с описанным выше экспериментом.

Слой скачка, термоклин (если речь

идет только о скачке температуры) или пикноклин (если речь идет о плотности вообще)—это поверхность раздела в океане, очень близкая к горизонтальной плоскости. Она, однако, может изгибаться кверху и выходить на свободную поверхность океана, образуя настоящий фронт в поверхностном слое. Это может происходить в нескольких случаях: например, когда у берега имеет место подъем глубинных холодных вод—«апвеллинг» (от английского слова «upwelling»), который может быть связан либо



Эксперимент с мешалками в начале работы мешалок [слева] и через некоторое время.

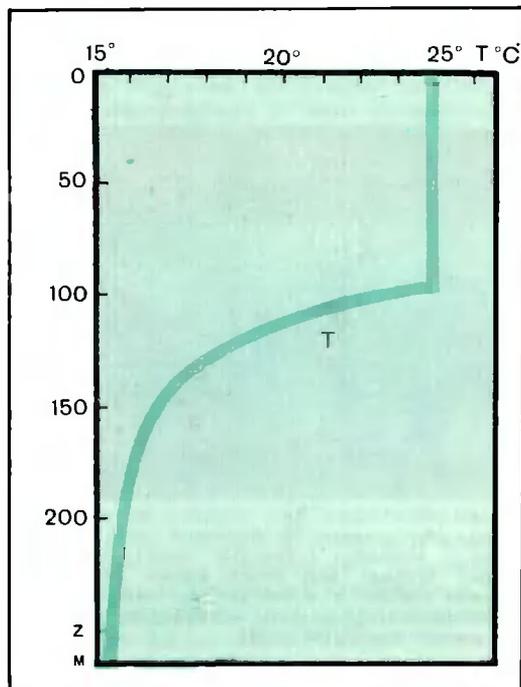
с общей циркуляцией вод при наличии боковой границы (берега), либо с местными ветрами, либо и с тем и с другим. Часто случается и так, что сильные приливные течения и связанное с ними трение о дно вместе с ветровым перемешиванием, работающие с поверхностью, перемешивают воду на мелководье у берегов от поверхности до самого дна. В открытом же море, где глубины больше, верхний слой ветро-волнового перемешивания лишь углубляется, сохраняя свою нижнюю резкую границу, которая выходит на поверхность там, где начинаются малые глубины и где перемешивание достигает дна. Шельфовые районы континентов, и в частности Западной Европы, изобилуют именно такими фронтами. На фотографическом изображении, полученном в инфракрасной области

спектра, с большой высоты теплые воды выглядят темнее, а холодные — светлее (что дает возможность физически измерять температуру вод океана с самолетов и спутников). Видно, что границы раздела между теплыми и холодными водами очень резки и что число таких термических фронтов вокруг побережья Европы и Англии очень велико. Работы английских ученых Дж. Симпсона, П. Фирнхэда, Р. Пингри позволили разработать методы предсказания положений и сезонных перемещений этих фронтов и связать наблюдаемые изменения продуктивности океана с изменчивостью фронтов. Можно думать, что прибрежное рыболовство значительно выиграет, воспользовавшись этими методами предсказания. Однако ученых привлекают океанические фронты не только в связи с чисто практическими интересами.

Выше уже говорилось, что благодаря поступающему сверху теплу океан практически всегда стратифицирован устойчиво. Устойчивая стратификация препятствует вертикальному перемешиванию, а стало быть затрудняет обмен глубинных слоев с атмосферой газами и теплом и мешает выносу к поверхности океана — в зону фотосинтеза — питательных солей из глубины. С другой стороны, все, кто проводил гидрофизические измерения в районах фронтов, знают, какие сложные вертикальные структуры вод, какие удивительные аномалии в распределении физических характеристик встречаются в этих районах. Английский океанолог Дж. Вудс недавно первым высказал гипотезу, что фронты в океанском термоклине являются, по-видимому, именно теми аномальными областями («окнами»), где происходит обмен повышенной интенсивности между поверхностными и глубинными слоями океана через гидростатически устойчивый термоклин. Если это так, то для количественного учета этого обмена придется серьезно заняться исследованием динамики, структуры и частоты повторяемости фронтов в океане. При этом нужно будет обратить серьезное внимание на то, как и при каких условиях формируются океанические фронтальные разделы, т. е. заняться проблемой изучения и прогнозирования фронтогенеза в условиях океана. Большой опыт, накопленный при изучении атмосферного фронтогенеза, будет при этом неоценимым подспорьем.

Изучение океанического фронтогенеза имеет все еще очень краткую исто-

рию. Большая часть имеющейся у нас информации об океанических фронтах и их формировании основана пока на случайных наблюдениях. Специализированные экспедиции и систематические программы, направленные на изучение фронтов в океане, пока насчитываются единицами. Это связано прежде всего с трудностями постановки наблюдений с корабля за такими быстро меняющимися и быстро перемещающимися пространственными объектами, какими являются фронты в океане. Применение аэрокосмических ме-



Типичное вертикальное распределение температуры в верхних слоях океана в умеренных широтах в зимний сезон. Хорошо виден верхний перемешанный до полной однородности слой и резкий спад температуры под ним.

тодов здесь напрашивается само собой и уже дает первые положительные результаты в сочетании с обычными традиционными методами океанографических работ. Во время исследований, предпринятых, например, американским ученым А. Вурхисом несколько лет назад, корабль многократно «наводился» на изучавшийся фронт с помощью спутниковой информации, поступавшей в виде инфракрасных изображений. Этот же метод был широко использован в недавно закончив-

шемся 27-м экспедиционном рейсе научно-исследовательского судна «Академик Курчатов», которым руководил автор этих строк.

Регистрируемые или видимые с космических высот или с борта корабля океанические фронты — это лишь следы выхода фронтальных разделов на поверхность океана. В глубинах океана имеется еще очень много невидимых глазу границ, многие из которых никогда не пересекают дневной поверхности океанических вод. Разве не удивительно, что воды Средиземного моря, изливаясь в Атлантический океан в придонном слое Гибралтарского пролива, стекают по каньонам шельфа и материкового склона, открываются ото дня на глубинах порядка 1000 м и затем в виде мощного слоя толщиной в несколько сотен метров, который постепенно дробится на все более тонкие прослойки, пересекают весь океан в направлении с востока на запад. Мы наблюдали эти тонкие прослойки более соленой и более теплой, чем окружающая, воды на горизонтах 1500—2000 м в Саргассовом море. То, что средиземноморские воды смогли пересечь весь океан, потеряв при этом лишь некоторую долю своих отличительных физических характеристик, говорит о том, что границы между ними и окружающими водами на всем их пути были резкими и имели фронтальный характер. То же самое можно сказать и о водах красноморского происхождения в Индийском океане.

В самом Красном море на дне открытых недавно глубоководных впадин находятся так называемые термальные воды, обязанные своим происхождением сложным тектоническим процессам в рифтовой зоне — глубинном разломе земной коры, проходящем вдоль оси Красного моря. Эти воды имеют темпе-

ратуру более 40° С (до 58° С в отдельных местах), тогда как выше них располагается двухтысячметровая толща воды с температурой, которая в среднем на 20—30° С ниже температуры термальных вод. Почему же эти очень теплые придонные воды не перемешиваются с вышележащими слоями? Мы так привыкли, что теплая вода легче холодной, и поэтому ожидаем ее конвективного подъема к поверхности. Этого, однако, не происходит потому, что соленость термальных вод превышает 200 г/литр, т. е. более чем в 6 раз больше солености обычной морской воды. Поэтому, несмотря на очень высокую температуру, плотность их много выше плотности вышележащих вод Красного моря, и термальные воды остаются во впадинах. Их верхняя граница представляет собой серию очень резких плотностных ступенек (однородных слоев), через поверхность раздела которых теплообмен осуществляется молекулярным путем. Здесь развиваются интереснейшие явления, в которых важную роль играет

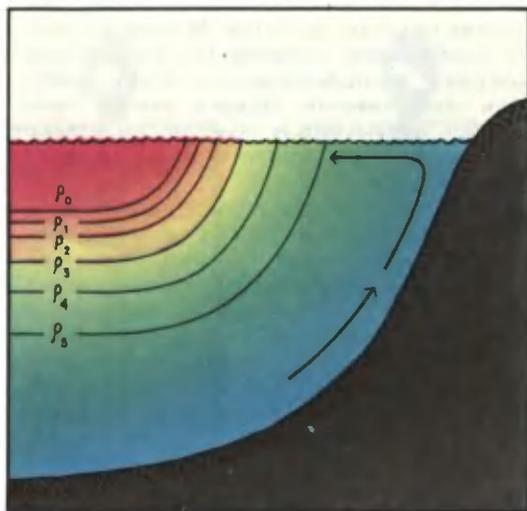
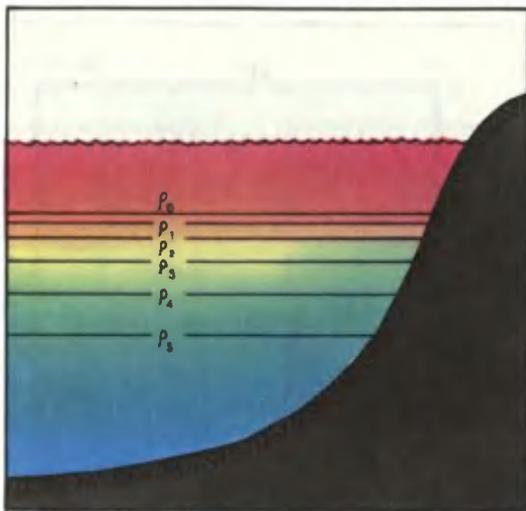


Схема образования прибрежного фронта при подъеме холодных глубинных (закрашенных голубыми тонами) вод возле берега до начала подъема (слева) и после выхода глубинных вод на поверхность  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots$  — обозначения изолиний равной плотности воды.

земного моря, изливаясь в Атлантический океан в придонном слое Гибралтарского пролива, стекают по каньонам шельфа и материкового склона, открываются ото дня на глубинах порядка 1000 м и затем в виде мощного слоя толщиной в несколько сотен метров, который постепенно дробится на все более тонкие прослойки, пересекают весь океан в направлении с востока на запад. Мы наблюдали эти тонкие прослойки более соленой и более теплой, чем окружающая, воды на горизонтах 1500—2000 м в Саргассовом море. То, что средиземноморские воды смогли пересечь весь океан, потеряв при этом лишь некоторую долю своих отличительных физических характеристик, говорит о том, что границы между ними и окружающими водами на всем их пути были резкими и имели фронтальный характер. То же самое можно сказать и о водах красноморского происхождения в Индийском океане.

В самом Красном море на дне открытых недавно глубоководных впадин находятся так называемые термальные воды, обязанные своим происхождением сложным тектоническим процессам в рифтовой зоне — глубинном разломе земной коры, проходящем вдоль оси Красного моря. Эти воды имеют температуру более 40° С (до 58° С в отдельных местах), тогда как выше них располагается двухтысячметровая толща воды с температурой, которая в среднем на 20—30° С ниже температуры термальных вод. Почему же эти очень теплые придонные воды не перемешиваются с вышележащими слоями? Мы так привыкли, что теплая вода легче холодной, и поэтому ожидаем ее конвективного подъема к поверхности. Этого, однако, не происходит потому, что соленость термальных вод превышает 200 г/литр, т. е. более чем в 6 раз больше солености обычной морской воды. Поэтому, несмотря на очень высокую температуру, плотность их много выше плотности вышележащих вод Красного моря, и термальные воды остаются во впадинах. Их верхняя граница представляет собой серию очень резких плотностных ступенек (однородных слоев), через поверхность раздела которых теплообмен осуществляется молекулярным путем. Здесь развиваются интереснейшие явления, в которых важную роль играет



Фронты на шельфе Европы и Великобритании на инфракрасном изображении, полученном с американского спутника NOAA. Фотография любезно предоставлена Р. Пигри [Великобритания].

различие скорости молекулярной диффузии соли и тепла. Весь процесс тепло-массообмена при этом удивительно напоминает то, что наблюдалось в описанном выше эксперименте с мешалками. Роль мешалок в термальных водах и пограничных слоях играет избыток тепла, порождающий конвективную турбулентность. Последняя, однако, не в силах сразу пробить весь перепад плотности между термальными водами и вышележащими слоями и поэтому делит приходящуюся на ее долю работу с молекулярной теплопроводностью и диффузией соли через установившиеся многочисленные поверхности раздела. Само возникновение этих множественных поверхностей раздела есть интересная физическая особенность тепло-массообмена в таких специфических условиях. Описание этого процесса заслуживало бы отдельной статьи.

Итак, мы увидели, что вода в океане уже поделена многими естественными границами, видимыми и невидимыми, на различные области, «языки», слои и прослойки. Некоторые из них удобно называть водными массами, к другим это название едва ли подходит, настолько эти слои и прослойки малы. Если бы не было этих границ, многие явления и процессы в океане, в том числе и биологические, протекали бы по-иному. Кто знает, может быть, природа подсказывает человеку, каким образом можно, не воздвигая плотин или перегородок, создавать искусственные границы в воде для поддержания необходимых концентраций питательных солей на прибрежных акваториях морского промыслового хозяйства, которое когда-нибудь заменит сегодняшнее «первобытное» рыболовство. Предложения о создании с помощью мощных насосов искусственного «апвеллинга» у побережья Бразилии для «удобрения» поверхностных слоев воды уже появлялись в печати. То, что сегодня кажется неэкономичным или неосуществимым, может завтра на базе новой техники оказаться доступным и рентабельным.

Изучение фронтов в океане, безусловно, одно из наиболее увлекательных направлений сегодняшней и завтрашней морской гидрофизики. В этой области сделано еще очень мало, что дает основания ожидать на данном направлении интересных результатов в самое ближайшее время.

## Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при одомашнивании животных

Д. К. Беляев



Дмитри Константинович Беляев, академик, заместитель Председателя Сибирского отделения АН СССР, директор Института цитологии и генетики СО АН СССР. Основные работы относятся к области общей биологии, генетики, теории эволюции и селекции животных. Разработал генетические основы селекции пушных зверей, обосновал пути наследственной перестройки функции воспроизведения у диких животных при их одомашнивании, сформулировал представление о дестабилизирующем отборе. На XIV Международном генетическом конгрессе избран Президентом Международной генетической федерации. Член редколлегии журнала «Природа». Неоднократно печатался в журнале (1968, № 11; 1975, № 5; 1976, № 6).

Одомашнивание животных, или одомашнивание, история которой не превышает 15 тыс. лет, представляет собой величайший биологический эксперимент. Его главный результат состоит в огромном повышении темпа и размаха изменчивости организмов, вовлеченных в сферу одомашнивания. Домашние животные отличаются от своих диких предков и друг от друга значительно больше, чем отдельные виды и даже роды. Аналогов такой изменчивости в столь короткие промежутки эволюционной истории не известно. Эти факты вызывают у некоторых исследователей сомнение в приложимости закономерностей дарвиновской эволюции к процессу одомашнивания.

Хотя виды одомашненных животных относятся к далеко отстоящим систематическим группам (не только родам и семействам, но даже отрядам), их изменчивость в отношении многих признаков носит характер гомологичной изменчивости. Все домашние животные утратили строгую сезонность размножения и линьки и практически размножаются в любое время года. Это явление трудно объяснить, так как наследственное разнообразие свойств, характеризующих сезонную жизнедеятельность у диких животных, практически равно нулю. В условиях одомашнивания сильно повысилась плодовитость, возникло боль-

шое количество разнообразных, в том числе доминантно-наследуемых морфологических и физиологических признаков, сходных в разных систематических группах.

Анализируя различные аспекты этой проблемы, я уже более 20 лет тому назад пришел к гипотезе, что утрата строгой сезонности размножения и моноэстричности (способности давать потомство только раз в год), свойственных диким животным, явилась следствием селекции этих животных на одомашнивающий тип поведения на самых первых этапах одомашнивания.

Что же мы понимаем под одомашнивающим поведением? Главным критерием здесь можно считать способность животных непосредственно контактировать с человеком, не бояться человека, подчиняться ему и размножаться в условиях, создаваемых человеком, что составляет необходимое условие любой формы хозяйственного использования животных. Совершенно очевидно, что селекция на поведение животных бессознательно проводилась человеком уже на самых первых этапах одомашнивания всех животных.

В попытке проверить эту гипотезу мною более 20 лет назад был организован эксперимент по одомашниванию серебристо-черных лисиц, разводимых на специальных фермах ради получения шкур. Этот эксперимент продолжается до сих пор сов-

местно с Л. Н. Трут. Хотя лисиц разводят уже более 80 лет, они сохранили все черты сезонной биологии, свойственные дикому виду: моноэстричность, строгую сезонность размножения и смены мехового покрова.

Специальное исследование<sup>1</sup>, проведенное нами совместно с Л. Н. Трут на первых этапах работы, показало, что в популяциях лисиц, разводимых на фермах и никогда не подвергавшихся специальной селекции по поведению, поддерживается определенный полиморфизм в отношении этого признака; около 30% лисиц имели резко выраженное агрессивное поведение по отношению к человеку, 20% — трусливое, 40% — агрессивно-трусливое и лишь около 10% обнаруживало спокойно-исследовательскую реакцию, не проявляя к человеку ни злобности, ни трусости. Однако даже этих животных, так же как и лисиц других поведенческих типов, без специальных предосторожностей от укусов нельзя брать в руки, так что и они являются, по существу, дикими животными. Каждая из этих реакций проявляется по-разному.

В этом исследовании были вскрыты факты, косвенно свидетельствовавшие в пользу сформулированной гипотезы:

было показано, что характер оборонительного по отношению к человеку поведения, сформировавшегося в течение первых 2—2,5 мес. жизни, сохраняется у подавляющего большинства животных как устойчивый признак особи;

Выяснилось, что разнообразие оборонительного поведения имеет наследственную основу, благодаря этому возможна эффективная селекция по тому или иному характеру поведения;

была обнаружена фенотипическая и генетическая корреляция между характером оборонительного поведения самок и временем их воспроизводительной активности в пределах сезона размножения, а именно: у самок со спокойным поведением активности воспроизводительной функции осуществлялись в сезоне размножения (конец января — конец марта), т. е. раньше, чем у самок других типов поведения. Предполагалось, что благодаря этой корреляции селекция на усиление спокойного

поведения может сдвинуть время размножения селективируемых животных за границу обычного сезона и, возможно, сформировать способность к двукратному размножению, т. е. дизэстричность.

Главная задача эксперимента состояла в том, чтобы путем селекции лисиц на усиление спокойного по отношению к человеку поведения, получить животных, в какой-то степени приближающихся по поведению к домашней собаке. Естественно, поэтому, что главным критерием отбора животных в селекционном опыте служила реакция лисиц на попытку человека контактировать с ними.

Реакция лисиц на контакт с человеком оценивалась в разном возрасте. Первое тестирование проводили не позднее чем в 2—2,5-месячном возрасте в условиях группового содержания молодняка в клетках. При этом оценивалась реакция на попытку экспериментатора прикоснуться к животному или предложить ему приманку (кусочек хлеба, печенья и т. д.). Для дальнейшего наблюдения и изучения отбирались животные, которые проявляли относительно спокойное и заинтересованное отношение к этой процедуре, и безусловно исключались агрессивные и трусливые животные. В более старшем возрасте (4—5 мес.) изучение и тестирование поведения велось в условиях свободного передвижения животных в специальных загонах; здесь также оценивалась реакция лисиц на человека, их склонность подойти к находившемуся в загоне экспериментатору.

Для размножения в пределах селективируемой экспериментальной популяции отбирали лисиц, устойчиво проявлявших спокойное поведение по отношению к человеку, а затем — по мере усиления эффекта селекции — и активное желание контактировать с ним. Отбор был достаточно жестким: в экспериментальную популяцию вовлекалось не более 15—20% тестируемых животных. В эксперименте использовалась гомогенная в отношении поведения система отбора (скрещиваний). Инбридинг (близкородственное скрещивание), за исключением специально предусмотренных случаев, не допускался. Всего за время эксперимента протестировано с целью оценки поведения около 10 тыс. животных.

В настоящее время на нашей экспериментальной ферме живет около 500 взрослых самок и 150 самцов лисиц и более 2 тыс. молодняка от них, полученных в результате такой селекции. По поведе-

<sup>1</sup> Беляев Д. К., Трут Л. Н. Поведение и воспроизводительная функция животных. I. Корреляция свойств поведения с временем размножения и плодовитостью. «Бюлл. МОИП», отд. биол., 1964, т. LXIX, вып. 3.



Типичная агрессивная серебристо-черная лисица.  
Фото В. А. Прасолова.

нию экспериментальные животные резко отличаются от лисиц, разводимых на обычных фермах, и исходной популяции, в которой началась селекция. Лисицы селектуемой популяции не только не боятся человека, но проявляют активно положительную реакцию по отношению к нему, реагируя на свои клички. Таких лисиц вполне можно считать ручными, хотя надо помнить, что такое поведение сформировалось у них не в результате какой-либо тренировки или дрессировки, а в процессе селекции, т. е. как результат изменения их генотипа. У наиболее ручных лисиц

возникли новые этологические признаки, не свойственные лисицам, разводимым на обычных фермах: подобно собаке, они ищут контакта со знакомым им человеком и стремятся быть около него, лизнут ему руки и лицо. У отдельных животных возникла сторожевая форма поведения, даже голос в моменты эмоционального возбуждения у некоторых, наиболее ручных лисиц, сходен с собачьим.

Весь комплекс изменений поведения возник у лисиц не сразу, но в рамках краткого сообщения невозможно охарактеризовать динамику изменения поведения лисиц под влиянием отбора. Существенно то, что принятая нами система отбора привела не просто к увеличению числа особей спокойного поведения, но к форми-



Ручные серебристо-черные лисы экспериментальной популяции.

Фото В. А. Прасолова

рованию животных совершенно нового типа, приближающегося к домашним собакам. Этот результат достигнут исключительно на генетической основе.

В генеалогических группах лис, наиболее продвинутых в отношении поведенческой одомашнивания, рождаются потомки (не проходящие тестирование), которые в условиях содержания в клетках проявляют все признаки поведения, характерного для одомашнированных животных.

Есть нечто трогательное в эмоциях этих лис, которые при виде даже не-

знакомому им человека активно стараются привлечь его внимание своими жалобно-скулящими звуками, взмахами хвоста, специфическими движениями — словом, всеми своими силами как бы зовущего человека к общению с ними.

Селекция по поведению не ограничилась изменением самого поведения. Как и предполагалось, изменение поведения сказалось на изменении воспроизводительной функции лис. Так, у наиболее ручных самок время спаривания сместилось за границы сезона размножения. Если в обычных популяциях сезон размножения начинается, как правило, не ранее 20 января и лишь у отдельных животных 10—12 января (период уже удлиняющегося в средних широтах светового дня),

то у ручных самок наиболее ранние спаривания были отмечены уже 20 декабря, т. е. в период самого короткого дня. Некоторые из этих самок давали приплод и затем вновь спаривались в нормальный сезон размножения — в марте. Хотя число таких самок в нашей экспериментальной популяции пока еще невелико, однако сам факт реорганизации системы размножения и получение потомства в результате внесезонного размножения — уникален. Он свидетельствует, что перестройка функции размножения у строго моноэстричных животных в сторону диэстричности и утрата прежнего, свойственного им строго сезонного размножения, осуществляется как коррелированный ответ на селекцию по поведению. Таким образом, полученные данные говорят, что исходная гипотеза о механизмах перестройки характера размножения животных в процессе доместикации верна.

В пользу ее говорят и другие факты. Так, за последние 2—3 года примерно у 40% ручных самок нашей экспериментальной популяции четкие признаки половой активности проявляются задолго до начала сезона размножения — в октябре—ноябре. Однако к этому времени самцы пока еще не готовы к спариванию. Вместе с тем для многих самок с внесезонной активацией воспроизведения характерны значительные аномалии в размножении в течение естественного сезона спаривания. От 30 до 40% таких самок в нормальный сезон размножения по разным причинам не дает приплода либо проявляют каннибализм, т. е. поедают его.

Таким образом, мы наблюдаем несомненную перестройку системы размножения животных — возникновение сложнейшего доместикационного изменения — диэстричности *in statu nascendi*. Эта перестройка означает не что иное, как дестабилизацию нормальной функции размножения, эволюционно сформировавшейся как важнейшее свойство вида в ходе предшествующей эволюции под давлением стабилизирующего отбора.

Анализ показал, что внесезонные явления воспроизведения возникали в разных, не родственных между собой генеалогических группах животных и что эти изменения носят наследственный характер. Существенно, что явления внесезонной активации воспроизведения возникали у самок с наивысшим проявлением доместикационного поведения. Корреляция между способностью животных к внесезонной активации воспроизведения и их доместика-

ционным поведением проявляется очень четко. Селекция на этот тип поведения сказалась и на плодовитости лисиц. У ручных, нормально размножающихся самок она значительно выше, чем у обычных лисиц<sup>2</sup>.

Помимо изменения поведения и воспроизводительной функции, селекция по поведению вызвала и некоторые другие физиологические и морфологические изменения животных. Прежде всего, это сдвиги в сроках линьки: у ручных лисиц она более растянута во времени, чем у неселектируемых. Но особенно заметны изменения времени линьки у самок с внесезонной, т. е. осенней (октябрьско-ноябрьской) активацией воспроизведения. У них линька в отчетливой форме начинается уже в январе—феврале, тогда как в норме — не ранее апреля. Здесь мы вновь наблюдаем дестабилизацию важнейшей приспособительной функции животных.

У ручных лисиц появились совершенно новые, не свойственные им морфологические признаки, но характерные для некоторых пород собак: положение хвоста, бурые пятна в области ушей, на шее и в области лопаток и, наконец, обычное для собачьих щенков положение ушей. Интересным доместикационным изменением представляется многократно возникавшая в экспериментальной популяции специфическая пегость, названная нами «звездочкой». Она наследуется как неполнодоминантный признак с разной степенью фенотипического выражения и с разной частотой проявления гена. Однако гетерозиготные формы хорошо отличаются от гомозиготных. Пегость подобного рода характерна для всех домашних животных, относящихся к разным отрядам.

Известно, что явления гомологичной изменчивости Н. И. Вавилов объяснял мутированием гомологичных генов в пределах систематически близких филогенетических групп. Правомерность подобного объяснения не приходится отрицать, поскольку она подтверждена многочисленными фактами, в том числе полученными в исследованиях закономерностей экспериментально индуцированного мутагенеза у растений<sup>3</sup>.

Беллев Д. К., Трут Л. Н. Поведение и воспроизводительная функция животных. II. Коррелятивные изменения при селекции на приручаемость. Там же.  
<sup>3</sup> Енкен В. Б. «Генетика», 1965, № 2.

Однако частота возникновения описанных выше аберрантных форм селективируемой по поведению популяции равна  $10^{-2}$ — $10^{-3}$ , т. е. она не менее чем на 2—3 порядка выше частоты спонтанного мутирования, что заставляет сомневаться в мутационной природе этих аберраций. Против мутационной интерпретации говорит тот факт, что у некоторых животных одновременно проявляются разные аберрации: собачий тип ушей и бурые пятна, собачий тип хвоста и такие же уши, что не укладывается в статистику мутационной природы этих изменений. Тем более невозможно объяснить с позиций теории мутирования изменения в системе воспроизведения и смены волосяного покрова животных. Данные нашей работы показывают, что гомологичная изменчивость в отношении ряда признаков и функций, в том числе таких сложных, как воспроизведение, возникла в процессе отбора животных по характеру оборонительного поведения, т. е. в той эволюционной ситуации, которая, несомненно, была характерна для всех без исключения видов животных, вовлекаемых человеком в сферу доместикации. Приходится думать поэтому, что в самой природе такого отбора содержится нечто такое, что порождает темп изменчивости, в частности гомологичной изменчивости в том смысле, как ее понимал Н. И. Вавилов.

Основу понимания причин, темпа и характера наблюдаемой нами изменчивости надо искать, очевидно, в специфике той функциональной системы, которая непосредственно стала объектом отбора и состояние которой служило главным критерием селекции животных на самых первых этапах их доместикации.

Естественно думать, что в силу весьма сложной морфо-функциональной связи между нервной и эндокринной системой отбор животных по поведению может автоматически изменить их гормональный статус либо затронуть рецепторную систему тех или иных клеток, а следовательно и специфику их биохимической, прежде всего ферментативной, активности со всеми вытекающими отсюда последствиями для процессов онтогенеза. Надо иметь в виду, что нейрогормональная система у всех высших позвоночных, у млекопитающих в особенности, играет ключевую роль в регуляции онтогенеза, и это связано с тем, что гормоны служат важнейшими регуляторами функции генетического аппарата — индукторами биохимической активности генов и синтеза фер-

ментов. Эти соображения послужили основой для целой серии проведенных в нашем Институте исследований гормональной системы у лисиц, селективируемых на доместикационный эффект поведения и не селективируемых по этому признаку.

Здесь невозможно осветить все результаты этих работ. Отметим только основные факты. Было установлено, что у селективируемых по поведению животных — как самок, так и самцов — уровень гормонов надпочечников (11-оксикортикостероидов) в периферической крови достоверно отличается от неселективируемых — контрольных. При этом выяснилось, что селекция на доместикационный эффект поведения серьезно затронула не только собственно секреторную активность надпочечников, что было продемонстрировано в исследованиях *in vivo* и *in vitro*, но и его морфологическую структуру<sup>4</sup>.

В целом эти факты свидетельствуют о том, что процесс поведенческой селекции привел к серьезным изменениям всей гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы у доместичированных лисиц. В результате селекции по поведению изменилось и содержание секреторируемых яичниками половых стероидных гормонов: эстрадиола и прогестерона<sup>5</sup>. Существенно, что уровень обоих гормонов у ручных самок в первые дни беременности выше, чем у контрольных. Поскольку эти гормоны играют важнейшую роль в процессах имплантации и в эмбриональной смертности, то этим хорошо объясняется повышенная плодовитость ручных самок по сравнению с обычными.

Может быть, наиболее значительным в этой серии исследований оказался тот факт, что у ручных лисиц обнаружены статистически достоверные изменения в некоторых нейрхимических характеристиках мозга, в частности в таких его отделах, как гипоталамус, средний мозг и гиппокамп<sup>6</sup>. Содержание медиатора мозга — серотонина и его метаболита 5-оксииндолуксусной кислоты у ручных лисиц оказалось выше, чем у обычных. Этот факт

<sup>4</sup> Трут Л. Н., Науменко Е. В., Беллев Д. К. — «Генетика», 1972, т. VIII, № 5.

<sup>5</sup> Осадчук Л. В., Красс П. М., Трут Л. Н., Иванова Л. Н. «Доклады АН СССР», 1978, т. 238, № 3.

<sup>6</sup> Попова Н. К., Войтенко Н. Н., Трут Л. Н. «Доклады АН СССР», 1975, т. 223, № 6.



Новые морфологические признаки у лисиц экспериментальной популяции: а — загнутый хвост, б — опущенные уши, в — специфическая пегость «звездочка», г — загнутый хвост и «звездочка».

Фото В. А. Прасолова.

хорошо согласуется с характером поведения domesticированных лисиц, так как известно ингибирующее влияние серотонина на некоторые виды агрессивности; с другой стороны, он указывает на причины изменения центрально-нервной регуляции гипоталамо - гипофизарно - надпочечнико-

вой и гипоталамо-гипофизарно-половой систем, поскольку именно серотонин играет важную роль в этом процессе. Таким образом, исследования показали, что селекция на domesticационный тип поведения серьезно перестраивает как центральные, так и периферические звенья нейро-эндокринной регуляции онтогенеза.

Эта перестройка у лисиц идет, конечно, в том же направлении, что и у давно одомашненных видов животных, поскольку и у них под давлением такого же отбора на первых этапах domesticации оказалась та же самая регуляционная система онтогенеза. Эти факты хорошо объясняют, с моей точки зрения, возникновение у domesticированных лисиц гомоло-

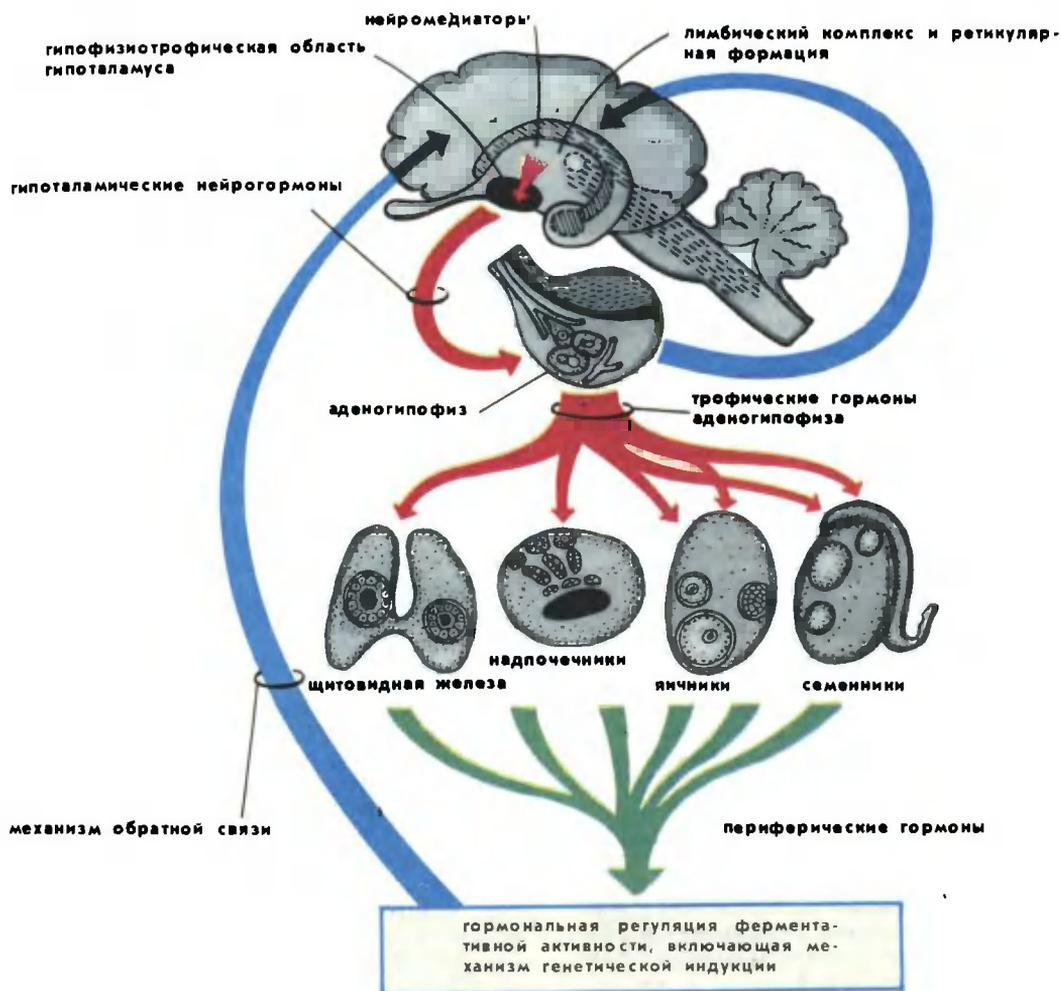


Схема связей между мозгом и эндокринной системой.

гичных изменений в системе воспроизведения и линьки.

С позиций изменения гормонального баланса в процессе доместикации представляется возможным объяснить и появление описанных морфологических изменений, возникающих с высокой частотой у ручных лисиц. Поскольку гормоны участвуют в регуляции функциональной активности гена, то можно представить, как измененный гормональный баланс привел к активации ранее функционально неактив-

ных, так называемых молчащих, или спящих, гомологичных генов, что вызвало целый комплекс гомологичных же морфологических изменений у доместизируемых лисиц.

Факт функциональной экспрессии или репрессии генов в онтогенезе под влиянием различных метаболитов, в том числе и гормонов, по-видимому, можно считать вполне установленным. Эволюционное значение этого явления значительно менее ясно. Хотя идея о возможной роли активации и инактивации генов в эволюции высказывалась в общей форме разными авторами (например, еще Г. Меллером, а затем Э. Цукеркандлем и Л. По-

лингм<sup>7)</sup>, однако хороших фактических доказательств этого пока нет и вся проблема ждет экспериментальной разработки.

В этой связи представляет интерес характер наследования упоминавшейся выше пегости «звездочка». Анализ расщепления при скрещивании гетерозигот по этому гену ясно демонстрирует недостаток гомозиготного класса при точном наблюдении расщепления 3:1. Специальное исследование показало, что этот факт нельзя объяснить смертностью эмбрионов гомозиготного класса. Полученные данные дают основание допустить, что у части гомозигот один из двух гомологичных мутантных генов, детерминирующих этот признак, функционально неактивен, и это ведет к тому, что генетически гомозиготные формы проявляют себя как гетерозиготные.

Конечно, мы не можем сказать, наблюдается ли в подобных случаях функциональная репрессия транскрипции или же все события развертываются на последующих этапах метаболизма генных продуктов, но в данном случае это не меняет существа дела. Принципиально, что под влиянием вызванного отбором изменения гормонального баланса развиваются, выходят в фенотип и испытываются отбором многие новые признаки, до того неизвестные виду и выводящие его за границы сформировавшегося полиморфизма.

Таким образом, мы приходим к выводу, что важной причиной гомологичной изменчивости домашних животных является отбор по поведению, вызвавший у всех видов млекопитающих, включенных в сферу domestikации, однонаправленное смещение гормонального баланса и, как результат этого, перестройку корреляционных систем организмов и активацию функционально неактивных — молчащих, или спящих, генов. Этим можно объяснить громадный размах и темп наследственной изменчивости при domestikации.

Конечно, нельзя отрицать вклад мутационного процесса в явление гомологичной изменчивости. Элементарные генетические механизмы, в том числе дрейф генов (изменение частоты генов) со всеми

его последствиями, также играют большую роль в возрастании изменчивости при domestikации. Однако ключевым механизмом domestikации и возникновения гомологичной изменчивости у животных все же приходится считать отбор и, очевидно, явления эпигеномного наследования.

Какова же природа и сущность того отбора, который служит основным механизмом domestikации? Какова форма этого отбора или, лучше сказать, его эффект? Современная генетико-эволюционная литература знает много форм отбора. Вслед за Ч. Дарвином, который по формальному признаку выделил естественный и искусственный отбор, целый ряд авторов описали другие его формы (консервирующий, дизруптивный и т. д.). И. И. Шмальгаузен<sup>8)</sup> выделил две основные формы отбора: движущий отбор, роль которого как главного фактора эволюции была обоснована Дарвином, и стабилизирующий, теория которого создана была в основном самим Шмальгаузенем.

Движущий отбор, опирающийся на мутации в основном минорного действия, ведет к чрезвычайно медленному сдвигу средней приспособленности популяций и видов к условиям новых экологических ниш в пределах данной среды. Как писал сам Дарвин, он не порождает изменчивости и опирается на ту изменчивость, которую дает ему природа. В сущности, на этом принципе стохастических процессов движения генов в генном пуле популяций построена вся современная популяционная генетика и генетическая теория эволюции и селекции. Стабилизирующий отбор действует всегда в условиях устойчиво освоенной видом (и в этом смысле относительно стабильной) среды. Он приводит к стабилизации онтогенеза ради формирования оптимального в данной среде фенотипа. Стабилизирующий отбор осуществляет свой эффект путем элиминации мутаций, нарушающих онтогенез и нормальный фенотип. Он удерживает изменчивость в пределах оптимальной, эволюционно установившейся нормы, но не порождает новой изменчивости.

Здесь уместно заметить, что понятие о формах отбора, хотя и общепризнано в биологической литературе, фактически является мало удачным, поскольку отбор действует всегда лишь в одной форме,

<sup>7)</sup> Muller H. J. Further studies on the nature and causes of gene mutations. «Proc. VI. Int Congr. Genet.», 1932, 1. Цукеркандль Э., Полинг Л. Молекулярные болезни, эволюция и генная разнородность. В сб.: «Горизонты биохимии». М., 1964.

<sup>8)</sup> Шмальгаузен И. И. Факторы эволюции. М., 1968.

а именно в форме элиминации менее приспособленных.

Для характеристики отбора наиболее существен формообразовательный (морфо-физиологический) эффект его действия, т. е. последствия для эволюционной судьбы популяций и видов. Очень хорошо это понимал Шмальгаузен, который второе (посмертное) издание «Факторов эволюции» закончил следующими словами: «В заключение я хочу отметить, что стабилизирующий отбор в его конкретном проявлении не является обособленной формой отбора. Правильнее было бы говорить о движущем и стабилизирующем эффекте (разрядка моя.— Д. Б.) единого процесса естественного отбора».

Если оценить исследованный в нашей модели отбор по поведению по его эффекту на онтогенез и изменчивость, то нетрудно видеть, что он, будучи формально движущим отбором, по существу ведет к резкой дестабилизации корреляционных систем развития и к сильнейшему повышению изменчивости. Отбор, обладающий таким эффектом, я назвал дестабилизирующим отбором<sup>9</sup>. Дестабилизирующий отбор в кратчайшие сроки ломает систему онтогенетической регуляции признаков и функций, сложившихся под действием стабилизирующего отбора, и порождает громадный размах изменчивости. Изменчивость, вызванная дестабилизирующим отбором, становится тем материалом, на основе которого в дальнейшем осуществляются другие эффекты отбора — движущий и стабилизирующий. Следовательно, дестабилизирующий отбор — важный фактор эволюции, значительно ускоряющий ее темпы.

Отбор становится дестабилизирующим тогда, когда под его давление попадают непосредственно или опосредованно системы нейроэндокринной регуляции онтогенеза. А это случается, по-видимому, всегда, когда в среде появляются новые, не освоенные видом стрессорные факторы или когда еще большего напряжения и силы достигают уже освоенные видом

стрессоры. В условиях domestикации отбор приобрел дестабилизирующий эффект именно потому, что domestизируемые виды столкнулись с целым комплексом принципиально новых стрессирующих (и отбирающих) факторов, главным из которых был, конечно, сам человек.

Дестабилизирующий эффект отбора проявляется, по-видимому, с особенной силой в экстремальных экологических ситуациях, при сильных давлениях стресса, особенно при смене среды, а не просто экологических ниш в пределах среды, т. е. именно в те моменты эволюционной истории, когда наблюдается особенно большое ускорение темпов эволюции.

Таким образом, стресс служит важнейшим модусом эволюции, ее фактором. Но стресс и стрессируемость неотделимы от самой жизни, они — ее условие, а, следовательно, и фактор ускорения эволюции жизни, особенно на высших этапах ее организации, когда система нейро-гормональной регуляции онтогенеза достигает большого совершенства. Возможно, в наше время, когда давление стресса на все формы живых существ непрерывно повышается, он может вызвать дестабилизирующие эффекты отбора.

Можно думать, что стресс как фактор наследственной изменчивости может коснуться и самого человека, ибо, как бы мы, люди, ни пытались избавиться или оградить себя от все возрастающих разнообразных стрессирующих факторов, сделать это невозможно. Надо ясно представлять себе, что, будучи важным фактором прогрессивной эволюции, стресс при сверхсильных нагрузках может привести к разнообразным, в том числе и неблагоприятным, последствиям в смысле изменчивости и формирования новых векторов отбора. Объективная диалектика бытия состоит во взаимно противоречивом единстве добра и зла, и эту простую, но неоспоримую истину мы должны ясно видеть, пытаясь оценить перспективы эволюции жизни на нашей прекрасной планете.

<sup>9</sup> Беляев Д. К. Биологические аспекты domestикации животных. Материалы Всесоюзного совещания по генетике и селекции новых пород сельскохозяйственных животных. Алма-Ата, 1970; Беляев Д. К. О некоторых вопросах стабилизирующего и дестабилизирующего отбора. В сб.: «История и теория эволюционного учения». Л., 1974.

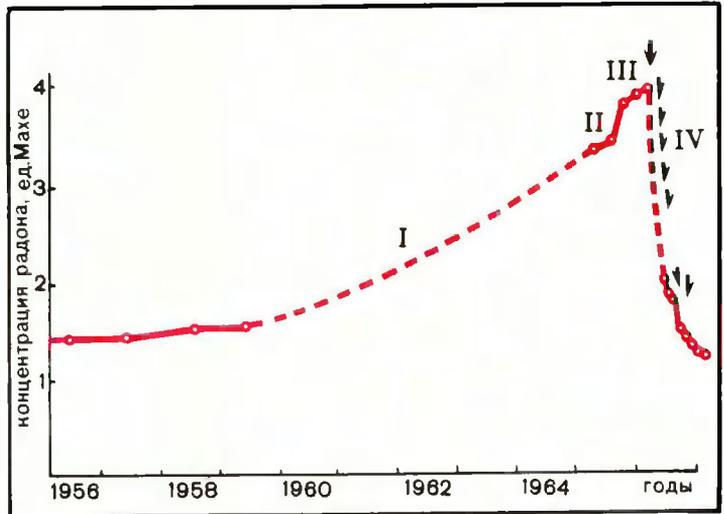
## Геохимические предвестники землетрясения

**В. Г. Тыминский,**  
кандидат геолого-минералогиче-  
ских наук.  
Центральный институт повышения  
квалификации Государственного  
комитета СССР по делам изобре-  
тений и открытий  
Москва

Попытки предсказывать землетрясения предпринимались неоднократно и базировались они, главным образом, на всестороннем изучении физических процессов, протекающих в недрах Земли. Для этого создана широкая сеть сейсмо-геофизических полигонов, оснащенных высокоточной аппаратурой, ведутся исследования в космосе. Но первые успехи принес геохимический комплекс исследований, применяя который удалось установить, что с землетрясениями связано изменение химического состава подземных вод и газов.

Начало этим исследованиям было положено еще в 60-е годы, когда по инициативе Ф. А. Алексеева (Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии Министерства геологии СССР) было налажено систематическое изучение химического состава минеральных вод Ташкентского артезианского бассейна. Исследователи наблюдали за содержанием радона, кислорода, фтора, водорода, аргона и изотопным составом урана. Уже на первой стадии исследований были отмечены высокие концентрации гелия, радона, аргона и изменения концентраций этих инертных газов во времени.

Для выяснения возможных причин этого явления были поставлены лабораторные эксперименты по изучению дегазации горных пород под действием упругих напряжений. В качестве источника упругих колебаний применялись генераторы ультразвуковых волн. Эксперименты показали, что, воздействуя ультразвуком на водные растворы, из них мож-



Изменение содержания радона в термоминеральной воде Ташкентского водного бассейна в районе эпицентра землетрясения 26 апреля 1966 г. Точками обозначены замеры содержания радона [максимальное содержание радона отмечено 20 апреля 1966 г.]; стрелками — моменты землетрясения [26 апреля 1966 г.] и сильных повторных толчков; римскими цифрами — этапы деформации. Единицы Махе — мера радиоактивности, равная 3,64 эмана.

но извлечь почти 100% растворенных газов. Этот же эффект был получен при воздействии ультразвуковых колебаний на образцы горных пород и руд. Выделение газа из образцов под действием ультразвуковых колебаний, очевидно, вызвано переходом газа из связанного состояния в свободное. Адсорбционные силы, которые в спокойных условиях удерживают атомы газа на стенках пор, микротрещин и других пустот внутри породы, становятся слабее, и газ переходит в свободное состояние.

Упругие колебания, по-

добные созданным в лаборатории, возникают в природе перед землетрясением и во время него, когда образуется большое число трещин и разрывов, а также изменяются магнитные, электрические и другие свойства среды. Все эти явления способствуют ускорению молекулярной диффузии через слой раствора, прилегающего к поверхности твердого тела вследствие увеличения поверхности раздела фаз, пористости твердого тела, роста температуры, давления и влияния акустических факторов.

Под действием упругих колебаний из горных пород выделяются не только инертные газы, но также химические элементы, входящие в состав пород: уран, фтор, цинк, ртуть, медь и др. Ультразвуковые колебания, проходя через горные породы, поровое пространство которых заполнено водой, обогащают водную фазу различными микроэлементами. Степень обогащения водной фазы тем или иным химическим элементом и даже определенным изотопом данного элемента, например  $^{234}\text{U}$  по сравнению с  $^{238}\text{U}$ , зависит от формы нахождения и харак-

тера распределения элемента в горной породе. Те химические элементы и их изотопы, которые слабее связаны с горной породой и кристаллической решеткой минералов, переходят в водную фазу в больших количествах.

Для подтверждения вывода о возможности обогащения подземных вод изотопами радиоактивных элементов в результате воздействия на водонамещающие породы упругих колебаний были поставлены эксперименты, выявившие влияние ультразвуковых колебаний на процесс селективного выщелачивания в раствор продуктов распада урана из образцов горных пород. Время, в течение которого пробы подвергали действию ультразвука, увеличивали с 5 до 40 мин. При этом величина отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  и  $\text{AcX}/^{235}\text{U}$  в жидкой фазе возрастала на 10, 20 и 25% соответственно.

Таким образом, с увеличением времени воздействия ультразвука жидкая фаза в процессе выщелачивания обогащается продуктами распада урана в большей мере, чем при выщелачивании без озвучивания. Короткоживущие изотопы (AcX) легче переходят в раствор, чем долгоживущие ( $^{226}\text{Ra}$ ). Незначительное изменение отношения изотопов урана ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) в жидкой фазе вызвано, по-видимому, тем, что изотопный обмен выравнивает энергетические состояния этих изотопов в минералах, поэтому влияние ультразвука на их выщелачивание незначительно. В тех же породах, где обмен между изотопами урана практически не происходит, можно ожидать более эффективного разделения  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  в ультразвуковом поле.

Непостоянные значения отношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  в подземных водах, зафиксированные в период Ташкентского землетрясения, обусловлены, очевидно, избыточным поступлением изотопа  $^{234}\text{U}$  из горных пород в воду, так как эти изотопы урана находятся в кристаллической решетке минералов в различных энергетических состояниях и подземные

воды обогащаются  $^{234}\text{U}$ . Упругие колебания, возникающие в горных породах до и во время землетрясения, должны способствовать еще большему обогащению водной фазы  $^{234}\text{U}$ , что и отмечено в Ташкентском бассейне.

Таким образом, вариации газового и химического состава подземных вод сигнализируют о росте упругих напряжений и деформаций в горных породах, т. е. о возможном землетрясении.

С другой стороны, процесс подготовки землетрясения сопровождается формированием в подземных водах, территориально связанных с эпицентральной зоной, газогидрохимической аномалии. Систематический контроль за характером этих изменений дает новую информацию о процессах, протекающих на больших глубинах. Следовательно, о том, что неспокойно в недрах, можно узнать по изменению газового состава и содержанию изотопов в подземных водах.

Наблюдения за изменением содержания радона в ташкентских минеральных водах в периоды до, после и во время землетрясения показали, что содержание радона на протяжении четырех лет (1956—1959) оставалось почти постоянным, а к середине 1965 г. резко, более чем в два раза, возросло. По свидетельству сейсмологов, на это же время приходится первый период роста упругих деформаций пород. Максимальный замер содержания радона был получен 20 апреля 1966 г., после чего через пять дней последовал толчок силой в 8 баллов, произошло землетрясение<sup>1</sup>.

После первого толчка афершток в Ташкенте повторялись довольно продолжительное время, при этом содержание радона резко возрастало за несколько дней перед толчками, и уменьшалось в периоды между ними. Эти вари-

ации содержания радона в период землетрясения связаны с нарушением равновесия между химическим составом воды и породы. По всей вероятности, в период затухания землетрясения или после него равновесие должно постепенно восстанавливаться и химический состав воды должен приближаться к существовавшему ранее, до землетрясения.

Кроме радона в ташкентских минеральных водах нами изучалось поведение и ряда других газов: фтора, гелия, аргона, хотя и за меньший период времени. Концентрации этих газов также существенно менялись (в основном в сторону возрастания) непосредственно во время сильных толчков, свыше трех баллов. Так, концентрация гелия в момент сильных толчков возрастает в 10—12 раз, фтора и аргона — в 2—3 раза. После толчков концентрация газов снижается<sup>2</sup>.

Возникновение повторного толчка по соседству с очаговой областью или нового самостоятельного очага четко фиксируется по аномальному поведению радона. Так, был предсказан 6—7-балльный толчок, случившийся 23 марта 1967 года, а также основные толчки Искандерского и Янгильского землетрясений, которые произошли 5 июля 1971 г. и 9 января 1972 г. в районе Ташкента.

В последние годы в ташкентском Институте сейсмологии АН УзССР под руководством А. Н. Султанходжаева проводятся систематические гидрохимические наблюдения, в результате которых были предсказаны подземные толчки 9 апреля 1967 г. (8 баллов), 19 июня 1967 г. (5 баллов), 1 августа 1967 г. (5 баллов), 7 ноября 1971 г. (4 балла) и 3 сентября 1971 г. (5 баллов).

Следует ожидать, что в общем комплексе методов, применяемых для прогнозирования землетрясений, гидрохимические исследования займут достойное место.

<sup>2</sup> По данным работам Госкомитетом СССР по делам изобретений и открытий зарегистрировано открытие (диплом № 129).

<sup>1</sup> Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. Ташкент, 1971.

## Особенности распределения газовых ресурсов Земли

**Г. П. Тамразян,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Институт геологии АН Азерб. ССР  
Баку

**С. Т. Овнатанов,**  
доктор геолого-минералогических наук  
Всесоюзный научно-исследовательский институт организации, экономики и управления нефтегазовой промышленности Министерства нефтяной промышленности СССР  
Москва

Газовые месторождения распространены на Земле очень широко. Они найдены в различных стратиграфических формациях, в пределах древних и молодых платформ, а также в складчатых областях. Скопления газа обнаружены в структурных, литологических и стратиграфических ловушках, в разных коллекторах (песках, карбонатах и др.), под глинистыми и соленосными отложениями, на многих глубинах (преимущественно на глубине 1—3 км), в различных гидрогеологических условиях. Однако несмотря на разнообразие условий, характерных для газовых месторождений, все же выявляются интересные общепланетарные особенности их распределения.

Количество начальных (не затронутых человеком) ресурсов газа во всем мире<sup>1</sup> равно 90 трлн м<sup>3</sup>. Они распреде-

лены по стратиграфическим комплексам следующим образом: наиболее богаты газом отложения верхнего мела (21,0%) и миоцена (14,7%); далее по значимости следуют: пермь (11,1%), нижний мел (9,3%), олигоцен (8,3%), триас (8,0%) и юра (7,8%). В остальных стратиграфических комплексах, в особенности нижнепалеозойских, газа существенно меньше.

Основные газовые ресурсы мира сконцентрированы в ряде крупных месторождений: 30% заключено в 15 наиболее значительных месторождениях с ресурсами свыше 1 трлн м<sup>3</sup> в каждом. В 300 же месторождениях с ресурсами газа свыше 30 млрд м<sup>3</sup> в каждом содержится до 70% всех мировых ресурсов.

Известные человеку газовые ресурсы на 96% при-

ходятся на Северное полушарие и только на 4% — на Южное, поэтому для анализа общепланетарных особенностей распределения газа целесообразно остановиться отдельно на Северном полушарии.

Самые большие месторождения газа в Северном полушарии сконцентрированы главным образом в двух широтных поясах (25—40° и 60—75°). В южном из этих поясов находятся семь уникальных месторождений с ресурсами более 1 трлн м<sup>3</sup> и несколько десятков месторождений с ресурсами от 50 млрд до 1 трлн м<sup>3</sup> в каждом. Нигде за пределами этого широтного пояса нет подобного скопления месторождений газа. В северном газоносном поясе открыты такие богатейшие месторождения, как Уренгойское, Заполярное, Ямбургское, Мед-

### Распределение начальных ресурсов газа по стратиграфическим комплексам (Северное полушарие)

| Стратиграфический комплекс<br>(млн лет) | Количество газовых ресурсов |              |              |
|---|-----------------------------|--------------|--------------|
|   | трлн м <sup>3</sup>         | %            | %            |
| <b>Неоген 25—0</b>                      | <b>16,8</b>                 | <b>19,4</b>  |              |
| <b>Палеоген 67—25</b>                   | <b>10,8</b>                 | <b>12,5</b>  | <b>31,9</b>  |
| <b>Мел 137—67</b>                       | <b>26,6</b>                 | <b>30,8</b>  |              |
| <b>Юра 195—137</b>                      | <b>6,9</b>                  | <b>8,0</b>   | <b>46,2</b>  |
| <b>Триас 230—195</b>                    | <b>6,4</b>                  | <b>7,4</b>   |              |
| <b>Пермь 285—230</b>                    | <b>9,4</b>                  | <b>10,9</b>  |              |
| <b>Карбон 350—285</b>                   | <b>5,0</b>                  | <b>5,8</b>   |              |
| <b>Девон 405—350</b>                    | <b>2,2</b>                  | <b>2,5</b>   | <b>21,9</b>  |
| <b>Силур 440—405</b>                    | <b>0,5</b>                  | <b>0,6</b>   |              |
| <b>Ордовик 500—440</b>                  | <b>1,0</b>                  | <b>1,2</b>   |              |
| <b>Кембрий 570—500</b>                  | <b>0,8</b>                  | <b>0,9</b>   |              |
| <b>Всего:</b>                           | <b>86,4</b>                 | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> |

<sup>1</sup> Газовые и газоконденсатные месторождения. Справочник. М., 1975

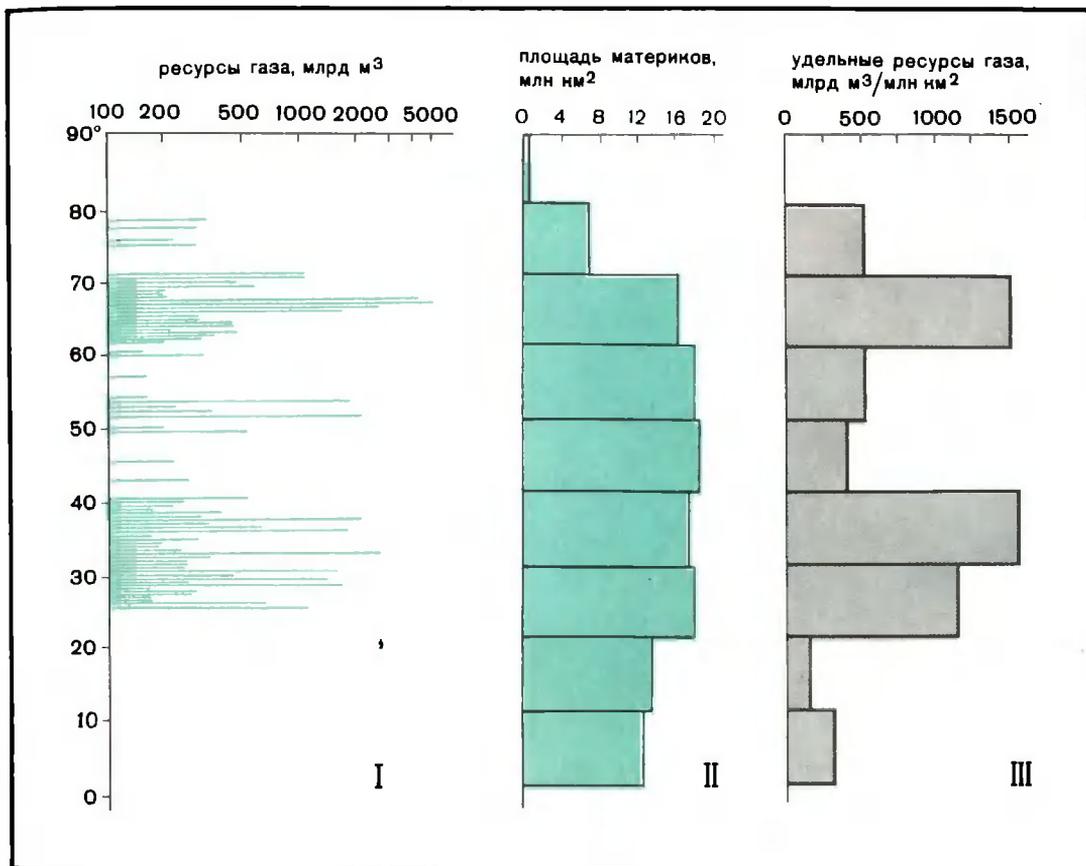
вежье, Бованенковское в северной части Западной Сибири и Прудхо-бей на Аляске. В этом же поясе находятся и 11 крупнейших месторождений с ресурсами по 0,2—0,5 трлн м<sup>3</sup>. В других широтных поясах так-

крупных газовых месторождений, так и по суммарным ресурсам газа. В северном газозональном поясе сосредоточено 19 трлн м<sup>3</sup> газа.

Такое заключение остается справедливым, даже если

плотность газовых ресурсов превышает 1700 млрд м<sup>3</sup> на 1 млн км<sup>2</sup>.

Можно предположить, что причиной возникновения широтных газозональных поясов послужило неравномерное вра-



Распределение по 10-градусным широтным поясам Северного полушария: I — газовых ресурсов крупнейших месторождений; II — суммарной площади суши и шельфа; III — начальных удельных ресурсов газа.

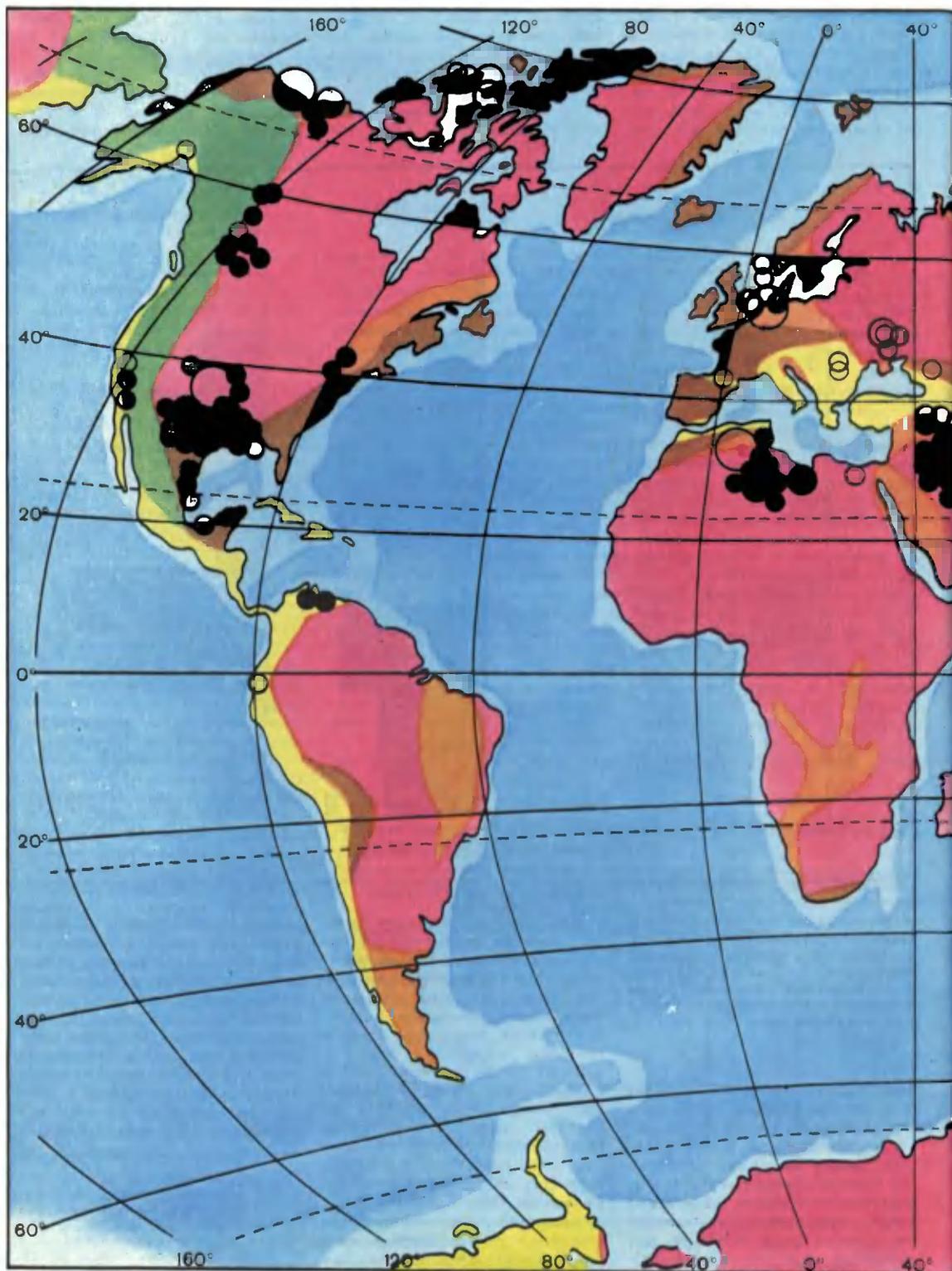
же обнаружены крупные газовые месторождения, но их число невелико.

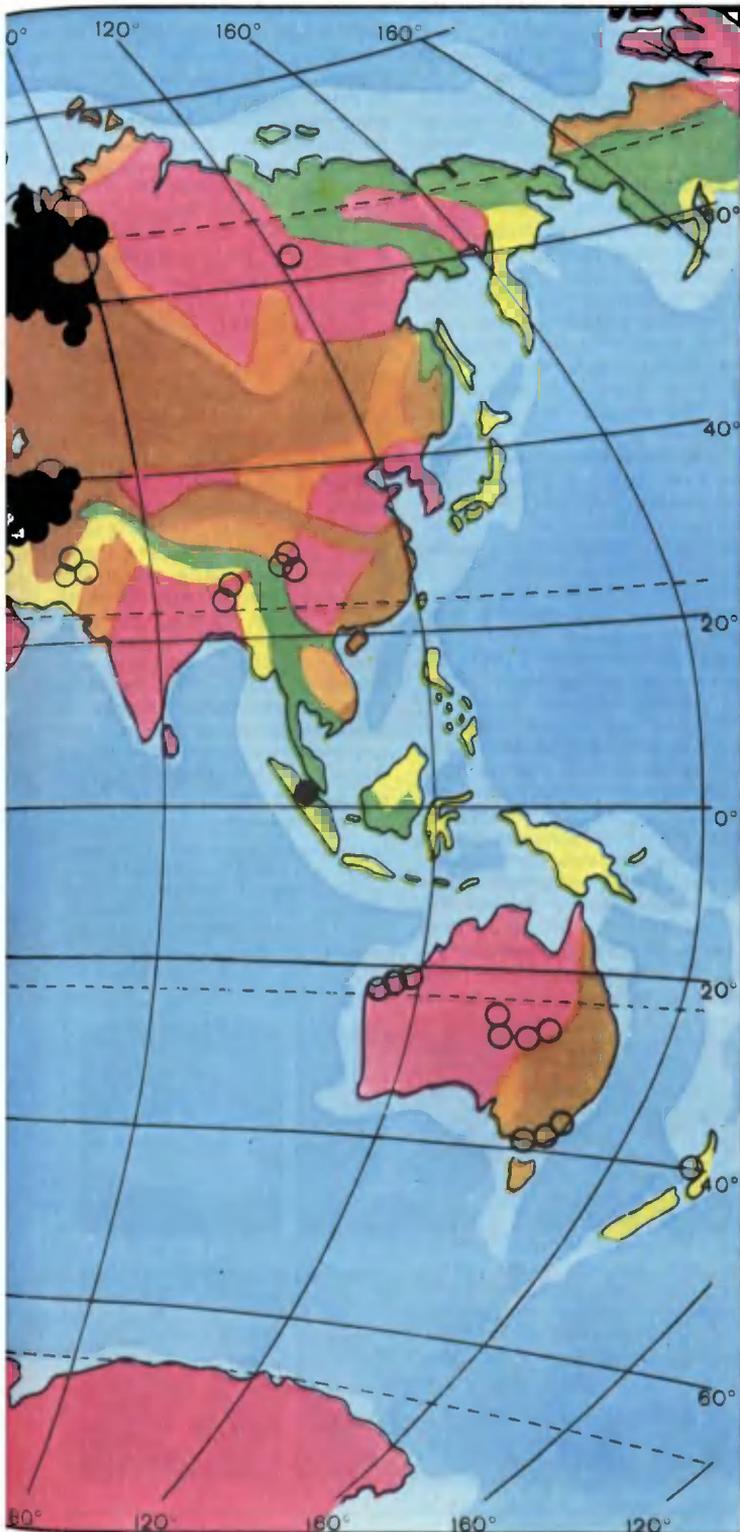
Наши расчеты показали, что свыше половины (больше 45 трлн м<sup>3</sup>) всех ресурсов Северного полушария, да и всего мира, приходится на южный газозональный пояс, который выделяется как по количеству

участь, что чем севернее пояс, тем меньше его поверхность и что значительную часть каждого пояса занимают водные просторы, так как на фоне уменьшения площади широтных поясов планеты к северу площади материков (суша + шельф) остаются практически одинаковыми по всем широтным поясам от 20 до 70° с. ш. Расчеты удельных ресурсов газа (количества газа, отнесенного к площади материка) еще раз подтвердили, что в Северном полушарии Земли существуют два газозональных широтных пояса, причем наиболее богат южный пояс, где

значение Земли. В течение фанерозоя происходила многократная смена увеличения и уменьшения скорости ее вращения, хотя в целом скорость уменьшалась<sup>2</sup>. С одной стороны, при изменении скорости вращения в результате разного по величине сжатия планеты изменялась длина параллелей, причем меньше всего изменялись параллели ±35° и прилегающие

<sup>2</sup> Тамразян Г. П. Некоторые главнейшие планетарные тектонические закономерности и их причинные связи.— «Геология и разведка», 1967, № 11.





**Наиболее значительные газовые месторождения мира.**

**древние платформы**

**области складчатости:**

байкальской

палеозойской

мезозойской

кайнозойской

подводные окраины материков

остальные морские и океанические области

**начальные ресурсы газа крупнейших месторождений, млрд м<sup>3</sup>:**

(1000 — 3000)

(300 — 1000)

(50 — 300)

< 50

к ним зоны, а по обе стороны от этих параллелей изменения имели противоположный знак. Таким образом, относительная стабильность зоны от 30 до 40 параллели могла способствовать формированию южного пояса высокой газоносности.

С другой стороны, при уменьшении скорости вращения происходило сокращение приэкваториальной зоны (0—35°) и растяжение зоны между параллелью 35° и полюсом, достигающее максимума на широтах 61—62°. Как ни мала величина растяжения, оно все же могло привести к появлению проницаемых зон в тех районах, где этому способствовало геологическое строение, и как следствию этого — к возникновению северного газоносного пояса.

Оба высокогазоносных широтных пояса Северного полушария Земли являются общепланетарными. В Восточном полушарии южный газоносный пояс приходится в значительной мере на Северную Африку, где расположены многочисленные газовые месторождения Алжира, Ливана, Туниса, Египта и других стран. Здесь находится одно из уникальных месторождений — Хасси Р'Мель, также крупнейшие месторождения, как Рурд-Нус, Хатейба и многие другие крупные месторождения Северной Африки. Крайняя южная часть Европы (южные участки Пиренейского, Апеннинского и Балканского полуостровов) и обширные просторы Средиземного моря также совпадают с южным высокогазоносным поясом. Эти территории перспективны при поисках нефти и газа.

Южный газоносный пояс можно проследить от Северной Африки, через Средний Восток (многочисленные месторождения впадины Персидского залива), Пакистан, Индию, Бангладеш, Китай вплоть до прилегающего шельфа (Желтое и Восточно-Китайское моря, Тайванский пролив, о-в Тайвань). В СССР южный газоносный пояс затрагивает очень небольшую территорию (Южно-Каспийская впадина, Туркмения, Узбекистан, Тад-

жикистан). Почти всюду эта территория оказывается высокогазоносной — именно здесь расположены крупнейшие газовые месторождения Средней Азии: Шатлыкское, Кирпичли, Багаджа, Денгизкуль и почти в этом же поясе (40—41°) Газлинское, Напикское, Ачакское, Гугуртли. Таким образом, в пределах СССР южный газоносный пояс уже вовлечен в интенсивную разведку и разработку. В боковых частях Южно-Каспийской впадины обнаружены крупные месторождения газа: Карадагское, Бахар и другие — на западе; Барса-Гельмес, Котуртепе и другие — на востоке; кроме того, выявлены многочисленные месторождения на севере Южно-Каспийской впадины, начиная от Апшеронского полуострова до Челекена. В Западном полушарии южный газоносный пояс проходит через богатейшие газоносные районы юга США и Мексики. В пределах всего этого пояса несомненно будет открыто еще немало новых крупных месторождений газа.

Что же касается северного газоносного пояса, то в его пределах на территории СССР уже разрабатываются месторождения в западной части Западно-Сибирской низменности, а также на территории Вилуйской впадины и Красноярского края. В Европе северный газоносный пояс приходится на Скандинавию, Финляндию, Архангельскую область и Коми АССР. Значительная часть Фенноскандии сложена древнейшими на Земле породами, не содержащими скоплений газа. Однако за пределами Балтийского моря, на территории Коми АССР и Архангельской области, с этим поясом связано много газовых месторождений (Вуктыльское, Лаявожское и другие). На северо-западе Европы, там где расположены крупные газовые месторождения Северного моря и прилегающей суши, северный газоносный пояс смещен к югу (52—60°).

В связи с рассмотрением высокой газоносности северного пояса кратко остановимся на крупном поднятии (широта 64—68°, долгота 350—358°),

расположенном к западу от Скандинавии в пределах Норвежского моря. Это поднятие может оказаться средоточием крупных нефтегазовых месторождений. Оно, по-видимому, представляет допалеозойское образование типа срединного массива, простирающееся примерно от банки Хальтен почти на 700 км на северо-запад. В пределах этого погребенного поднятия привлекают внимание многие участки, например с координатами 66°49' с. ш. и 5°20' в. д. (глубина моря порядка 0,8 км).

В Западном полушарии северный газоносный пояс проходит через территории Аляски, а также островов и шельфа Северной Канады. Здесь располагаются такие месторождения, как Прудхобей (с ресурсами газа свыше 1 трлн м<sup>3</sup>), Кристофер-Бей, Кинг-Христиан, Дрейк-пойнт, Теглу, Хекла и др.

Выделение широтных поясов высокой концентрации ресурсов газа несколько не умаляет значения поисков газовых месторождений на всех широтах, в зависимости от местных геологических условий, но делает эти поиски более направленными.

## Вулкан ночью

**А. И. Цюрупа**

Институт вулканологии Дальневосточного научного центра АН СССР  
Петропавловск-Камчатский

Более 17 месяцев в 1975 и 1976 гг. продолжалось крупнейшее в историческое время базальтовое извержение на территории СССР — извержение в районе вулкана Плоский Толбачик. Все это время сотрудники нашего института постоянно вели наблюдения за извержением<sup>1</sup>, и в том числе за извержением Южного, самого «спокойного» из образовавшихся конусов. Однако невозможно было обеспечить присутствие достаточного количества наблюдателей в разных местах громадной и труд-

непроходимой территории, на которой развивалось извержение. Вынуждено ограниченными или вообще недопустимыми были работы на участках, опасных из-за газов или бомбопада. В этих условиях наблюдения с удаленных пунктов (визуальные, с помощью геофизической аппаратуры, фото- и кинокамер), и особенно ночные, в которых принимал участие автор этих строк, дали неоценимую информацию о событиях, происходивших на конусе и лавовом поле.

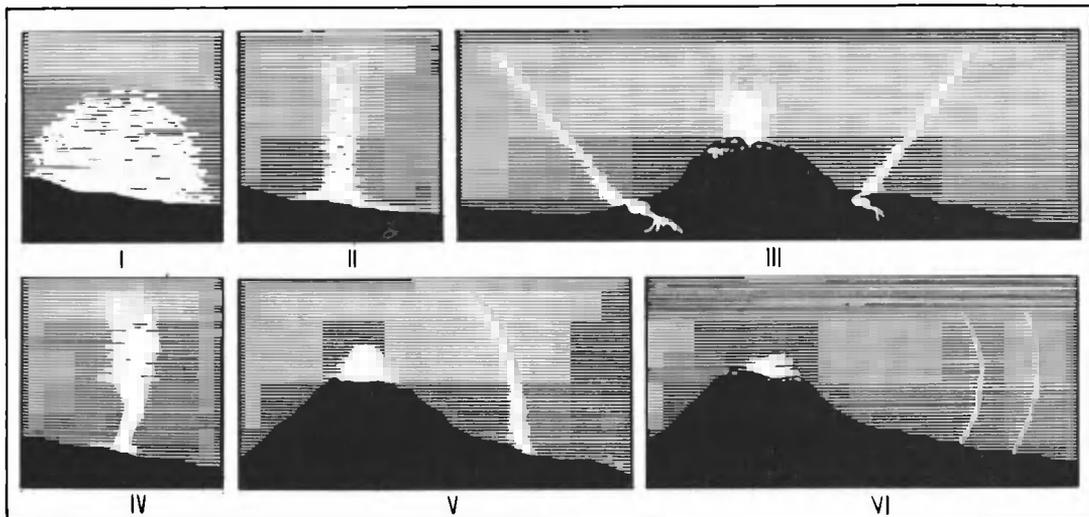
Вулканологи никогда не пренебрегали ночными наблюдениями, и не только потому, что вулкан ночью — фантастически красивое зрелище. Ночью можно увидеть многие детали извержения, незаметные днем. Во время Толбачинского извержения световые явления, связанные с отражением, преломлением и рассеянием света, в том числе и от источников, непосредственно не наблюдаемых, оказались крайне разнообразными и информативными. Эти явления помогали проследить работу лавовых бокк (мест выхода на поверхность жидкой раскаленной лавы) в разных частях лавового поля,

контролировать продвижение или обстановку фронта удаленных от наблюдателя лавовых потоков, вести планирование маршрутов на предстоящий день и дополнительную привязку маршрутов, выполненных накануне. Для успешного решения перечисленных задач нужно было уметь отличать те явления, которые происходили непосредственно над светящимися лавами, от тех, что возникали в стороне от них и не могли служить целям привязки.

Удалось выделить несколько групп световых явлений над первичным источником свечения. Так, над кратером и светящимися лавами на нижней поверхности облачного покрова, высокого тумана или эруптивного облака самого вулкана возникали световые блики (пятна). В некоторых случаях световые блики позволяли наблюдателю установить, какой именно из нескольких лавовых потоков, фронт которых был удален на 6—10 км от наблюдательного пункта, продолжал наступать, а какой остановился. Световые блики над кратером обнаруживали пульсации яркости, по которым

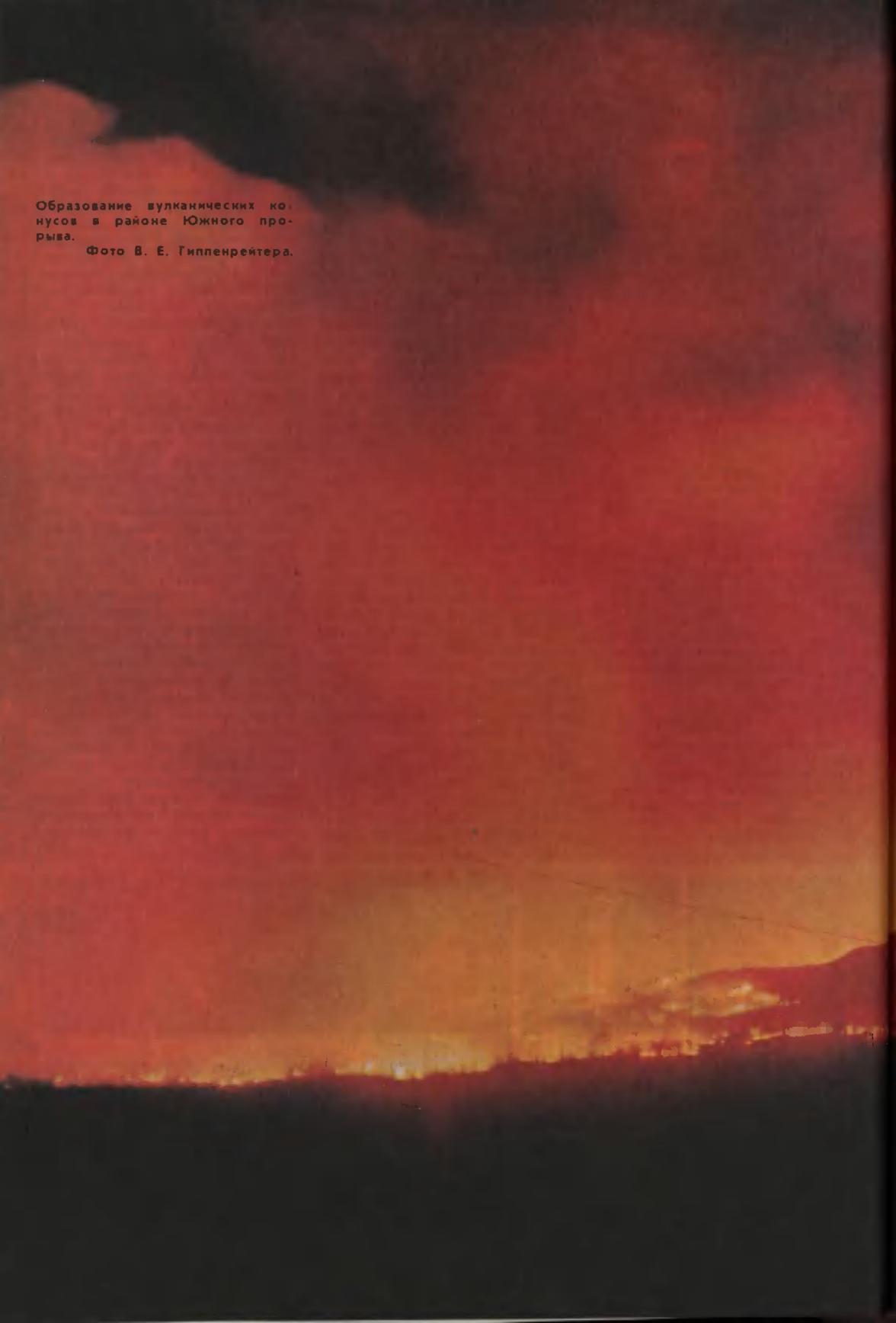
<sup>1</sup> Чирков В. М. Толбачинское извержение. — «Природа», 1976, № 7.

Примеры световых явлений ночью близ Южного конуса (1975—1976 гг., район Толбачика): I — световой купол; II — световой столб; III — световая трапеция; IV — газовый столб; V — смерч; VI — световые дуги.



Образование вулканических конусов в районе Южного пролива.

Фото В. Е. Гиппенрейтера.







Смерчи на Южном прорыве в июле 1976 г.

Фото В. А. Подтабачного.

можно было судить о частоте внутрикратерных взрывов, даже если раскаленные выбросы не поднимались над кромкой кратера.

В постоянно присутствующей в воздухе взвеси светорассеивающих частиц (пыли, тумана, ледяных кристалликов) над светящимися участками лавовых потоков наблюдались световые купола и рассеянное свечение. Это было самое распространенное из световых явлений над лавовым полем Южного конуса. Контуры светящейся области бывали, как правило, нечеткими, расплывчатыми, а их форма — неправильной. Однако непосредственно над мощными концентрированными бокками или лавовыми озерами возникал правильный полусферический купол. Светимость зарева, по-видимому, зависела не только от мощности первичного источника света, но и от концентрации светорассеивающих частиц. В очень ясную сухую безветренную погоду свечение бывало минимальным. Однако большое количество пыли полностью маскировало любые виды свечения.

По-видимому, свечение над вершиной вулкана Михара, получившее у японских вулка-

нологов специальное название «годзинка», сродни световым бликам или куполам и фиксирует наличие светящегося материала в жерле<sup>2</sup>.

Разновидность световых куполов, наблюдавшихся над концентрированными источниками подсветки, мощными одиночными бокками, представляли собой световые столбы. Световые столбы очерчены резче, чем купола, всегда прямолинейны и обычно вертикальны. Можно предположить, что какую-то роль в возникновении правильных световых столбов играли плотностные неоднородности в восходящих струях нагретого воздуха при относительно безветрии.

Роль магматического газа в образовании упомянутой выше вертикальной струйчатости была, вероятно, ограниченной. В периоды мощного газоотделения над бокками, расположенными не далее первых сотен метров от конуса, возникал газовый столб с нечеткими и заметно подвижными границами. С высотой столб расширялся. Эти особенности газового столба были хорошо видны ночью, благодаря под-

светке светящейся лавой. Светимость газового столба уменьшалась с высотой, но, случалось, бывала заметна на высоте 200 м с лишком.

Всего один раз 3 сентября 1976 г. наблюдалась световая трапеция. Две бокки изливали лаву у подножья Южного конуса с 23 часов, слева и справа при наблюдении с северо-северо-запада. Два световых луча, направленные в противоположные стороны от вулкана, исходили от ярко светившихся бокк. Меньшее основание очерченной этими лучами световой трапеции совпадало, таким образом, с основанием конуса. Это явление продолжалось не менее получаса, после чего в бокках началось сильное газоотделение и светящаяся трапеция исчезла, заменившись вертикальными газовыми столбами.

Можно выделить также несколько групп световых явлений в стороне от первичного источника свечения. С мая 1976 г. и до установления снежного покрова в октябре в районе Толбачинского дола наблюдались смерчи. В сущности, это были настоящие пустынные смерчи в новорожденной пустыне под  $56^\circ$  с. ш. Легкий черный пепел и мелкий шлак быстро накалялись солнцем, а на свежих лавах еще и подогрелись снизу. Смерчи часто зарождались непосредственно над бокками, лавовыми

<sup>2</sup>Танака И. Механизм Годзинка — одно из вулканических явлений на горе Михара на острове Идзу-Осима (Япония). «РЖ геология», 1974, реферат 28538.

«окнами» и озерами, но, как правило, перемещались с места на место. Ночью смерчи становились видимыми при освещении бомбовыми фонтанами, раскаленной лавой бокк или луной. Для подсвеченных ночью смерчей была характерна изогнутость светящегося столба и сужение снизу вверх при относительно четких ограничениях.

В ноябре 1975 г. со стороны открытой тогда подковы вулканического конуса наблюдались тонкие высокие светящиеся дуги, фокус которых совпадал с местоположением кратера. Дуги были бесцветными или желтоватыми, что соответствовало цвету фонтанов раскаленных бомб. В основании дуг не было заметно никаких светящихся объектов. Наблюдатель находился в 2-3 км от вулкана, при этом дуги казались расположенными на таком же удалении или несколько ближе и лежали в пределах 10—20° от кратера.

По-видимому, дуги не меняли своего места в пространстве, но светимость их становилась то ярче, то бледнее до полного исчезновения.

Можно предположить, что светящиеся дуги представляли собой морозное гало на беспорядочно ориентированных кристалликах снежной (ледяной) пыли, подсвечиваемой со стороны открытой подковы конуса.

Однажды удалось наблюдать тонкую светящуюся дугу, стремительно перемещавшуюся в запыленном воздухе от места, где происходили взрывы, представляющую, по-видимому, фронт звуковой волны.

Электрические явления — молнии и зарницы в газво-пепловом облаке — явления достаточно обычные. Однако при существовании эффузивном (лавовом) извержении Южного конуса мощные пепловые выбросы, особенно с весны 1976 г., были связаны, по-ви-

димому, с внутрикратерными обрушениями, а не с первичным пеплообразованием. Молнии и зарницы появлялись на этом извержении лишь в связи с наиболее мощными пепловыми выбросами. Ночью, когда нельзя было непосредственно судить о характере пеплоотделения, электрические разряды свидетельствовали о таких обрушениях и, косвенно, о явлениях, способствующих обрушениям, например, о низком стоянии лавы в жерле.

Вероятность скорого повторения в СССР извержения, подобного Толбачинскому извержению 1975—1976 гг., конечно, мала. Однако вполне можно ожидать появления каких-то из вышерассмотренных явлений и на извержениях другого типа. Опыт ночных наблюдений на Толбачике может быть в этом случае использован, несмотря на то, что некоторые из перечисленных явлений не нашли пока доказательства объяснения.

## НОВОСТИ НАУКИ

### Океанология

#### Кольцеобразные течения у берегов Австралии

Более 200 лет назад установлено, что вдоль восточного побережья Австралии, омывая ее штаты Квинсленд и Новый Южный Уэльс, движется направленное с севера на юг течение. Этот устойчивый поток четко прослеживался от северной части Кораллового моря до южных районов Тасманова моря, однако причины существования столь значительного течения оставались неизвестными.

На протяжении почти всего 1977 г. Организация научных и промышленных исследований Австралии совместно с австралийским ВМФ изучала эти перемещения водных масс с помощью системы, состоящей из 12 свободно

дрейфующих буйев с установленными на них приборами и искусственного спутника Земли, собиравшего накопленные на них данные.

Установлено, что течение имеет значительно более сложную структуру, чем полагали до сих пор. Оно состоит из трех кольцеобразных завихрений, диаметры которых достигают 200 км. Движение этих кольцевых течений направлено против часовой стрелки. Наибольшее из них наблюдается на траверзе Кофс-Харбор — бухта Джервис (Квинсленд), остальные — в районе мыса Кейп-Хоув и у северного побережья Тасмании.

Выяснены причины этого явления. Разогреты тропические воды северной области Кораллового моря под влиянием вращения Земли «разливаются» на большую поверхность над более холодными слоями. Приходящие из глуби-

ны охлажденные водные массы окружают образовавшиеся теплые «острова». Измерения показали, что в центре таких «островов» уровень моря примерно на 1 м выше уровня окружающего пространства, что, вероятно, прямо связано с нагоном теплых вод. Под действием сил земного тяготения и силы Кориолиса эти теплые «линзы» приходят во вращательное движение, которое в Южном полушарии направлено против часовой стрелки.

Поступавшие в последнее десятилетие сообщения, будто течение не существует, на самом деле объясняются его прерывистостью: когда уровень воды в центре теплового «острова» уравнивается с окружающей поверхностью, оно «замирает», вплоть до поступления новых разогретых водных масс из Кораллового моря.

«Industrial Research and Development», 1978, v. 20, № 5, p. 58 (Австралия).

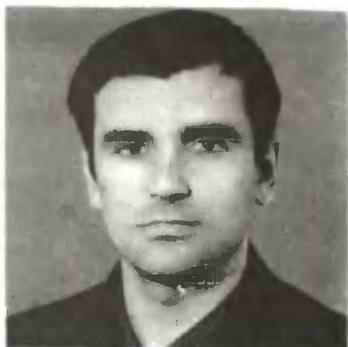


## Кавказский биосферный заповедник и проблемы охраны природы северо-западного Кавказа

А. М. Хохлов, А. С. Солодько



Анатолий Михайлович Хохлов, кандидат сельскохозяйственных наук, директор Кавказского государственного заповедника. Исследует динамику популяций млекопитающих и птиц северо-западного Кавказа.



Александр Степанович Солодько, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник того же заповедника. Занимается изучением структуры естественных лесных сообществ.

Наиболее важным звеном в ряду мероприятий по охране природы в нашей стране является в настоящее время создание биосферных заповедников, входящих в глобальную систему охраняемых территорий с научно обоснованным дифференцированным режимом заповедности. Основная особенность таких заповедников состоит в сохранении всего разнообразия растительного и животного мира в естественных экосистемах и защите генетического фонда всех обитающих в них видов. Исключительная ценность биосферных заповедников в том, что они представляют собой стандарты для измерения долговременных изменений в биосфере в целом.

Статус биосферного заповедника

на северо-западном Кавказе в 1978 г. получил и Кавказский заповедник.

Организован заповедник в 1924 г. За время существования заповедника усилиями его коллектива и ряда ученых страны изучены многие стороны этого природного комплекса. Намечены пути наиболее рационального использования природных богатств и на сопредельных территориях.

Кавказский заповедник с его сложной геологической структурой, особенностями климата, с неповторимой своеобразной флорой и фауной представляет исключительную научную ценность. Здесь могут с успехом разрабатываться и решаться вопросы эволюционной экологии растений и животных, истории растительности, живот-



Карта-схема Кавказского заповедника и проектируемого изменения его границ.

Территории заповедника:

-  существующая
-  проектируемая

- Границы:
-  лесной пояс

-  высокогорные луга

- Ареалы:
-  тис ягодный

-  лиственничная кавказская

-  каштан настоящий
-  самшит колхидский
-  сосна пицундская
-  карстовый рельеф
-  пещеры

ного мира, геологической истории Кавказа.

Огромно и практическое значение заповедника как резервата ценных животных для обогащения фауны соседних территорий. Трудно переоценить практическое значение запасов воды, сосредоточенных в горных ледниках и озерах заповедника, и мощного регулятора их расхода — обширных лесных массивов — для сельского хозяйства Кубани, а также для рек и знаменитых курортов Черноморского побережья Кавказа.

Природа Кавказского заповедника определяется геологической историей этого участка суши. Здесь при движениях земной коры неоднократно менялся ландшафт: Кавказ был островом, окруженным морем; полуостровом; испытал на себе действие великого оледенения, после которого остались морены и горные озера. Здесь, на перешейке Европы и Азии, в течение тысячелетий сложился богатый и своеобразный растительный и животный мир из представителей Средиземноморья, европейского Севера и Средней Азии, которые поселялись среди древних кавказских аборигенов. Территория заповедника простирается вдоль северного и южного склонов Главного Кавказского хребта, который тянется с северо-запада на юго-восток и занимает верховья рек Белой, Малой и Большой Лябы, Мзымты, Сочи и Головинки (Шахе).

Территория заповедника представляет типичную высокогорную область северо-западного Кавказа с труднодоступными скальными хребтами и вершинами, покрытыми вечными снегами и ледниками, с глубокими ущельями, горными реками и озерами. Наивысшая точка заповедника — гора Акарагварта (пик Смидовича) — 3360 м над ур. м. Средняя высота территории заповедника — 1500 м. Вместе с обособленным участком — Хостинской тисо-самшитовой рощей (Сочи) — площадь заповедника составляет 2636 км<sup>2</sup>.

Горный рельеф обуславливает высотную зональность климата и высотное распределение растительности.

## РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Основная часть заповедника покрыта лесами. Леса заповедника величественны и красивы. Отличаются они большим разнообразием древесных пород, обилием подлеска, гигантскими размерами деревьев.

На высоте до 1200—1300 м над ур. м. растут широколиственные леса пестрого

видового состава. Дубовые леса приурочены к светлым южным склонам, помимо дуба в них растут граб, груша, яблоня, береза, алыча и другие породы деревьев. В наиболее затененных и увлажненных местах растут буковые леса. Они тенисты, деревья имеют широкие кроны, которые высоко вверх смыкаются в плотный шатер. Около 2/3 всей лесной площади на высоте от 1000—1200 до 1500—1900 м составляют пихтовые леса. Пихты поражают своей мощью и величием. Увешанные седыми прядями лишайников, они почти не пропускают солнечного света. Возраст некоторых деревьев 400—500 лет, их высота 60 м, диаметр ствола — 2 м.

На высоте 1900—2000 м растут береза, рябина, высокогорный клен. Деревья окружает высокий, пышный травяной покров. Выше по склонам гор начинается криволесье. Стволы берез, бука и рябин под давлением многометровых толщ снега зимой приобрели саблевидную форму.

По долинам рек, лесным полянам и опушкам встречается заросли гигантских трав (субальпийское высокотравье). Высота их достигает 2,5—3 м. Особенно большой высоты достигают борщевики, их стебли имеют высоту 3,5—5 м, диаметр 8—10 см, листья длиной 120—150 см, соцветия 50—80 см в диаметре. В состав субальпийского высокотравья входит ряд реликтовых видов: борец восточный, колокольчик молочноцветный, живокость пирамидальная, девясил великолепный и др.

В высокогорьях заповедника, главным образом в западной его части, растет кавказский рододендрон — реликтовый вечнозеленый кустарник. Толстый слой снега спасает рододендрон от зимних холодов. А как только под солнечными лучами тает снег, быстро развиваются с осени сформировавшиеся бутоны, и высокогорья расцветаются букетами из нежных белорозовых соцветий.

На высоте 2300—2500 м пышная растительность субальпийских лугов уступает место красочным альпийским низкотравным лугам. Здесь на изумрудной скалтерти трав выделяются белые анемоны, фиолетовые примулы, синие генцианы, оранжевые крокусы. Суровые климатические условия не могли не отразиться на внешнем облике растений этого пояса. Растения поражают миниатюрностью. Чуть-чуть возвышаясь над землей, они несут на маленьком стебле крупные яркие цветы. Например, очень крупные



Типичный ландшафт заповедника (хр. Джемарук).

Фото В. А. Котова.

голубые колокольчики имеют стебли высотой 1,2—2 см.

Флора заповедника богата и своеобразна. Здесь растет около 20% эндемичных видов. К настоящему времени в заповеднике известно около 1500 видов высших растений, относящихся к 96 семействам. Общее число всех видов растений, включая мхи, лишайники, грибы и водоросли, составляет примерно 3000, однако полного их списка пока не имеется.

Большое место во флоре заповедника занимают реликты. Среди них деревья: тис, восточная ель, пихта кавказская, настоящий каштан, колхидский самшит, хмелеграб и др.; вечнозеленые кустарники: понтийский и кавказский рододендроны, падуб, лавровишня, понтийская иглица и др.; листопадные кустарники: кавказская черника, желтый рододендрон; лиа-

ны: колхидский плющ, павой (смилакс). Особенно ценны редкие эндемики, произрастающие в заповеднике: тюльпан Липского, шафран красивый, живокость кавказская, дриада кавказская, волчегодник черкесский и др.

#### ЖИВОТНЫЙ МИР

Фауна северо-западного Кавказа сформирована из южноевропейских, средиземноморских и горноазиатских видов, а также эндемиков, связанных своим происхождением с Главным Кавказским хребтом. На территории заповедника обитают 59 видов млекопитающих, 192 вида птиц (132 вида гнездятся). В «Красную Книгу СССР» занесены 14 видов млекопитающих и птиц. Точный состав фауны заповедника также пока не установлен, особенно это касается насекомых и почвенных животных.

Среди обитателей заповедника наиболее ценны и интересны копытные животные, и прежде всего горный зубр. Вес

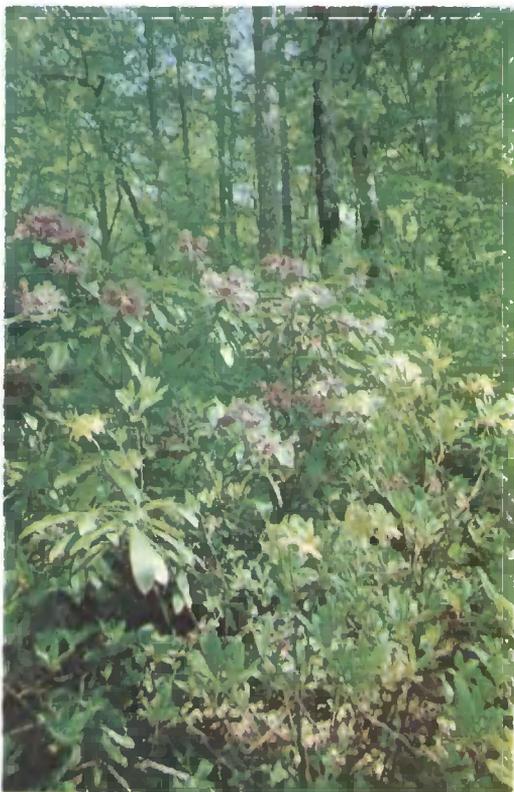


На высоте 3000 м над ур. м. в октябре цветет шафран Шарояна.

Фото Т. Л. Каждая.

Под кронами весенних деревьев цветут рододендроны понтийский и желтый.

Фото А. С. Солодько.



Зимовник кавказский — украшение зимнего леса.  
Фото Т. Л. Каждая.

взрослых быков достигает тонны. На массивной голове с широким лбом в густой шерсти спрятались глаза. Небольшие рога. Передняя часть туловища и головы покрыты густой курчавой шерстью. Сужение ареала распространения зубров под влиянием хозяйственной деятельности человека, усиленное истребление их браконьерами привели к тому, что в 1927 г. был убит последний зубр — самец. В 1940 г. Кавказский заповедник начал восстановление зубров. Эта работа была продолжена после войны. В настоящее время задача восстановления стада заповедником выполнена: численность зубров на Кавказе достигла 500 голов.

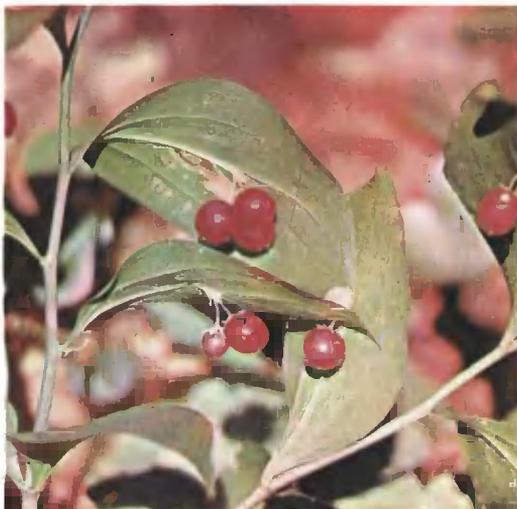
В заповеднике наиболее многочисленны кубанские туры. Казалось бы с виду неуклюжие и медлительные, эти животные поражают впервые увидевшего их человека исключительной ловкостью передвижения в скалах по почти отвесным кручам.

Из западноевропейской фауны в заповеднике обитают стройные быстроногие олени. Оленей можно встретить во всех поясах гор. Небольшими группами продвигаются они по склонам. При организации заповедника олени были на грани истребления (200—300 голов), сейчас их более 9 тыс. Обитают в заповеднике косуля, легкая, подвижная и быстрая горная антилопа-серна. Повсеместно распростра-



Сквозь жухлую осеннюю траву пробиваются цветы шафрана красивого.

Фото Т. Л. Камдая.



Плоды иглицы подлистной — реликта Колхидского леса.

Фото А. А. Лебедевой.

Плоды пиона кавказского по красоте не уступают его цветам.

Фото Т. Л. Камдая.

наны кабаны, встречается медведь, численность его — 200 животных. Значение заповедника в сохранении медведей невелико, так как эти животные не постоянно держатся на территории заповедника, в некоторые годы они почти полностью покидают его и гибнут от браконьерства.

В лесах обитает лесная, а в каменистой местности каменная куница. Заповедник является резерватом этих ценных пушных зверьков. Размножаются они в заповеднике, а затем расселяются за его пределы. Обитают в заповеднике также самый маленький хищник — ласка, шакал, барсук, рысь, выдра, норка. Эндемиком Кавказа среди грызунов является прометеева мышь, среди птиц — горный тетерев, улар и др., среди пресмыкающихся — кавказская гадюка. В реках заповедника живет форель, в некоторые реки, впадающие в Черное море, заходит на нерест черноморский лосось, но в последнее время эта рыба стала очень редкой.

#### ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Изучение природы заповедника, начатое еще в прошлом веке, было особенно интенсивным в послевоенные годы.





Кавказские олени.

Фото Ю. И. Шамилова.

К настоящему времени период маршрутно-экспедиционных исследований в основном уже закончен. Составлены геологическая, почвенная, геоботаническая карты заповедника. Произведена инвентаризация цветковых и споровых растений, грибов, позвоночных животных и, частично, насекомых. Работа в этом направлении еще продолжается. Изучаются защитные функции горных лесов, их структура и популяции ле-

сообразующих видов, кормовые угодья, экология и биология тура, оленя, серны, кабана, куницы и других видов, разработаны способы учета, отлова и расселения основных охраняемых видов животных. В настоящее время в заповеднике осуществляется переход к комплексным стационарным исследованиям горных биогеоценозов.

В результате более чем 50-летних работ на территории заповедника сохраняется уникальный природный комплекс типичных для северо-западного Кавказа горных ландшафтов с присущими им ценными видами растительного и животного мира.

В заповеднике создано вольное стадо горных зубров. Восстановлены находивши-

еся на грани уничтожения кавказский благородный олень, кубанский тур, серна и другие виды животных.

Заповедник ведет работу по межгосударственным программам в области охраны природы и по обмену опытом с учеными Болгарии, Венгрии, Чехословакии, США, Англии, ФРГ, Кении, Франции, Швеции и других стран.

Начаты подготовительные работы к участию в программе ЮНЕСКО и Международного союза охраны природы и природных ресурсов, предусматривающей создание мировой сети биосферных заповедников.

Однако в целях гарантированного обеспечения сохранения редких ценных и исчезающих видов животных и растений в Причерноморье требуется пересмотреть существующие границы заповедного природного комплекса, включив в его состав нижнегорный пояс смешанных лесов.

Территория заповедника, установленная в 1924 г. для охраны ценных и прежде всего крупных копытных животных, в настоящее время не обеспечивает полной охраны биогеоценозов и популяций всех видов животных, обитающих в этом регионе, особенно таких редких видов, занесенных в Международную «Красную Книгу», как зубр и закавказский бурый медведь. В связи с этим заповедник не может считаться полным резерватом их генофонда.

Значительная часть диких животных в зимний период остается с ограниченной кормовой базой и вынуждена мигрировать в нижний пояс гор на хозяйственно освоенные территории, где подвергается антропогенному прессу, вследствие чего численность отдельных видов животных в последние годы имеет тенденцию к сокращению. Так, численность бурого медведя из-за продолжающейся на него охоты в Краснодарском крае падает. В пределах заповедника за последние 10 лет численность медведя снизилась на 34%.

На территории заповедника не полностью представлены ландшафты северо-западного Кавказа, в частности не входят предгорные лесостепи и причерноморские леса. Большая часть лесного пояса заповедника (более 90% территории) приходится на формации пихтовых и буковых лесов среднегорий и высокогорий. Основная часть пояса дубовых, каштановых, а также почти весь пояс смешанных лесов нижнего пояса в состав заповедника не входят. Таким образом, не находятся под охраной богатейшие и исключительно ценные пред-



Улар кавказский (горная индейка).

Фото А. В. Дубня.

ставители третичной флоры, а также многие виды растений, занесенных в «Красную Книгу СССР», большая часть ареалов которых находится в среднегорных и нижнегорных поясах; леса колхидского типа с тисом и самшитом. Охрану же их лишь на территории небольшой тисо-самшитовой рощи в Хосте (301 га), которую посещают ежегодно около 200 тыс. экскурсантов, очевидно, нельзя считать надежной.

Ежегодно через заповедник прогоняют скот на высокогорные пастбища Фишт-Оштен, на субальпийских лугах гор Малый и Большой Бамбак, некогда бывших заповедных землях, производится выпас скота.

Не решена еще кардинальным обра-

зом проблема туризма. В летний период через заповедник идет массовый поток организованных и самодеятельных групп туристов. С целью ограничения туристского пресса и вместе с тем удовлетворения возрастающей потребности людей в отдыхе на лоне природы нужна охранная зона вокруг заповедника, в пределах которой и целесообразно прокладывать туристические маршруты.

Чтобы Кавказский заповедник смог выполнять свою главную задачу — сохранение уникального природного комплекса Кавказа — необходимо расширить его территорию и включить в его состав среднегорные и нижнегорные пояса Главного Кавказского хребта: на южном склоне хребта — пояса причерноморских смешанных дубовых и каштановых лесов, на северном склоне — пояс дубовых лесов до лесостепи. С этой целью целесообразно в междуречье рек Мзымты и Сочи соединить основную территорию с обособленным участком заповедника в районе Хосты у берега Черного моря. При этом на западе границу целесообразно провести от хостинской тисо-самшитовой рощи через г. Ахун по водоразделу рек Хосты и Мацесты и далее по р. Сочи до границ заповедника. На востоке — от истоков р. Ачипсе по водоразделу рек Чвежипсе и Медовеевка и далее по р. Малая Хоста до хостинского участка заповедника.

Кроме того, в этом районе требуется незамедлительно установить режим заповедности еще и в связи с тем, что известняковые хребты Алек и Ахцу являются областью питания Сочи-Мацестинского месторождения сероводородных и сульфидных вод. Здесь встречаются замечательные образцы карстового рельефа, которые известны и за пределами СССР. Хребет Алек — наиболее крупный район подземных пустот в СССР. На хребте Малый Ахцу с целью комплексного изучения известной Воронцовской системы пещер в 50-е гг. уже существовал Карстовый стационар Крымского филиала АН СССР. Эти пещеры представляют огромный интерес для изучения вопросов гидрогеологии, палеонтологии и археологии. Ахунская пещера входит в кадастр самых красивых пещер СССР.

На северном склоне расширение границ заповедника целесообразно провести в районе гор Фишт, Оштен и верховьев рек Пшеха и Курджипс.

Известняковые массивы гор Фишт и Оштен, которые ранее входили в состав

заповедника, являются мощными областями питания поверхностных и подземных вод западной части заповедника и удобными пастбищами для туров и оленей. Этот район — уникальный для северо-западного Кавказа памятник растительного мира. Обилие древних эндемичных альпийских видов свидетельствует о том, что это один из центров формообразования и сохранения видов с третичного времени. Поэтому этот интересный и ценный с ботанической и геологической точки зрения район необходимо включить в состав заповедника.

Требуется включить в состав заповедника территорию по бассейну р. Ципе, где широко распространены древесные реликты: тис, самшит, каштан и др. До 1951 г. этот район был в составе заповедника. Тогда здесь обитало более 30% всей численности серн заповедника. Сейчас же их в 7 раз меньше.

Очень важно включить в состав заповедника скалистые крутые склоны мыса Видного в окрестностях Хосты — участок естественной растительности с пицундской сосной (эндемиком Кавказа). Исключительно важное значение имеет включение в состав заповедника территории в верхнем течении р. Мзымты от поляны Грушевая до оз. Кардывач, искусственно разделяющей заповедник на две части. В этом районе встречаются редкие виды растений, занесенные в «Красную Книгу СССР». По предварительным данным, от нижнегорного пояса до среднегорий здесь растет более 20 таких видов.

При этом в состав заповедника войдут ареалы распространения таких редких видов животных, как бурый медведь, серна, рысь и др. Необходимо принять срочные меры по прекращению охоты на бурого медведя. Вместе с тем в бассейне р. Мзымты улучшатся условия для нерестилища ценных лососевых рыб, а на южных склонах Главного Кавказского хребта создадутся условия для расселения чистокровных зубров.

Проблемы охраны природы северо-западного Кавказа тесно связаны с охраной лесов. Сохранение, усиление и использование защитных и рекреационных свойств лесов имеет гораздо большую ценность, чем добываемая в них древесина. Хозяйственное же использование лесов Черноморского побережья с целью заготовки древесины противоречит их основным санитарно-защитным функциям. Тем более недопустимы лесопромышленные рубки непосредственно у границ заповедника.



Западнокавказский тур.

Фото А. В. Дубня.



**Зубры на лесной поляне.**

Фото А. В. Дубня.

**Серны на субальпийском лугу.**

Фото А. В. Дубня.

В настоящее время они еще ведутся. В долине р. Мзымта, Мацеста и других районах необходимо увеличение заповедно-охранного лесного фонда, которое должно быть предусмотрено при разработке генеральной схемы развития лесного хозяйства и использования лесных ресурсов на северо-западном Кавказе. Решение этой задачи в причерноморских лесах чрезвычайно важно.

Одна из существенных задач — выявление и организация охраны особо ценных и красиво цветущих растений. В законодательном порядке нужно запретить заготовку в естественных условиях и продажу на рынках редких и реликтовых видов растений.

Незамедлительное решение насущных проблем охраны природы северо-западного Кавказа позволит сохранить для настоящего и будущих поколений этот красивейший, ценный и богатый район нашей страны.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Лещенко Б. В.** КАВКАЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК. Краснодар, 1951.

**Насимович А. А.** КАВКАЗСКИЙ ЗАПОВЕДНИК. — В сб.: Заповедники СССР, т. 1, М., 1951.

**Банников А. Г., Голгофская К. Ю., Котов В. А.** КАВКАЗСКИЙ ЗАПОВЕДНИК. М., 1967.

ПРИМЕЧАТЕЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ СССР И ИХ ОХРАНА. М., 1967.

ПЕЩЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СССР. М., 1973.

#### Поправка

На 2-й странице обложки («Природа», 1979 г., № 1) в подписи к 1-й странице обложки следует читать: фото В. Ф. Семенова.

Очередные номера «Природы» можно приобретать по предварительным заказам, оставив заказ лично до 5 числа за два месяца до выхода журнала (например, заказ на № 5 до 5 марта) в магазинах «Академкнига»:

№ 1 — Москва, 103009, Центр, ул. Горького, 8, тел. 229-11-78.

№ 2 — Москва, 117312, ул. Вавилова, 55/7, тел. 135-63-49.

Наложенным платежом

журнал высылается при заказе по адресу: 103012, Москва, К-12, Центр, Большой Черкасский пер., д. 2/10, тел. 221-57-26. Центральная контора «Академкнига».

## У истоков современной химии

К 200-летию со дня рождения Ж. Л. Гей-Люссака

**Н. А. Фигуровский,**

доктор химических наук

Институт истории естествознания и техники  
АН СССР

Французский ученый Жозеф Луи Гей-Люссак является одним из основоположников современной химии и физики. Его многочисленные и разносторонние исследования относятся к важному в истории науки периоду становления химической атомистики и способствовали быстрому прогрессу естествознания в первое десятилетие XIX в.

Жозеф Луи Гей-Люссак родился 6 декабря 1778 г. в небольшом городке Сен-Ленар в центральной Франции в семье королевского прокурора. В 1794 г., после смерти отца, он был отправлен в один из частных пансионов Парижа, а спустя 3 года поступил в Политехническую школу. Желая, однако, получить диплом инженера путей сообщения, он вскоре перешел в Школу мостов и шоссе, где и началась его научная деятельность.

Одним из профессоров Школы был знаменитый К. Л. Бертолле. В 1800 г., возвратившись из египетского похода генерала Бонапарта, он искал себе подходящего кандидата для занятия должности ассистента. Его выбор пал на Гей-Люссака, который с радостью принял приглашение.

Случилось так, что первое экспериментальное задание, которое было поручено Гей-Люссаку, дало результаты, совершенно противоположные ожиданиям Бертолле. Маститый ученый сумел высоко оценить научную самостоятельность своего ассистента и заявил ему: «Молодой человек, ваше призвание состоит в том, чтобы делать открытия; отныне — вы мой соратник, и я хотел бы стать вашим отцом в научной деятельности и уверен, что смогу в дальнейшем гордиться вами»<sup>1</sup>.

Некоторое время Гей-Люссак работал вместе с сыном Бертолле Амедеем на одном из заводов близ Парижа, проверяя

предложенный К. Бертолле метод отбеливания тканей хлором. С начала 1802 г. Гей-Люссак работал «репетитором» (ассистентом) Политехнической школы у А. Фуркруа, где стал читать лекции по химии. В 1802 г. он опубликовал результаты своих исследований по расширению газов при повышении температуры и представил Парижской Академии наук доклад «Об образовании осадков металлических оксидов».

24 августа 1804 г. Гей-Люссак вместе с известным французским физиком Ж. Б. Био совершил подъем на воздушном шаре с научными целями<sup>2</sup>. Вторым подъемом Гей-Люссак совершил один 16 сентября того же года. При исследовании проб воздуха, отобранных во время полета на разных высотах, Гей-Люссак совместно с химиком Л. Ж. Тенаром установил, что состав воздуха на больших высотах тот же самый, что и у поверхности земли. Этот результат опроверг точку зрения Дж. Дальтона, полагавшего, что с высотой соотношение кислорода и водорода в составе воздуха изменяется.

В 1807 г. Бертолле основал Аркейское научное общество в своем доме в Аркее, близ Парижа. Это было общество нескольких «избранных» выдающихся ученых, таких как П. Лаплас и А. Гумбольдт; Гей-Люссак также вошел в его состав и в первом томе «Мемуаров Аркейского общества» опубликовал сообщение о магнитных явлениях. Его соавтором был Гум-

<sup>2</sup> За два месяца перед этим, 30 июня 1804 г. в Петербурге, по поручению Академии наук, академик-химик Я. Д. Захаров (1765—1836) совершил первый в истории науки подъем на воздушном шаре с научными целями. (См. об этом: Ю. И. Соловьев. — «Природа», 1951, № 1). Этот полет вызвал сенсацию в научном мире, и Парижская Академия наук, из соображений престижа, решила предпринять такой же полет.

<sup>1</sup> Bugge G. Das Buch der großen Chemiker. В., 1929, S. 386.

больдт, с которым он познакомился еще в 1804 г. Они уже имели опыт общей работы по определению состава воздуха, пробы которого были привезены Гумбольдтом из разных мест Южной Америки. Гей-Люссак к тому времени был широко известным ученым и за год до этого, в 1806 г., был избран членом Парижской Академии наук. В 1809 г. он стал профессором химии в Политехнической школе и профессором физики в Сорбонне.

В течение почти 50 лет Гей-Люссак неустанно вел разнообразные и трудоемкие исследования в различных областях химии и физики. В процессе этих исследований он неоднократно подвергал свою жизнь серьезной опасности. Так, в 1808 г. при изучении свойств металлического калия, полученного им совместно с Тенаром химическим путем, произошел взрыв, повредивший ему глаза. Несколько недель существовала опасность полной потери зрения. В течение года Гей-Люссак не мог переносить яркого света и пользовался для работы маленькой ночной лампой. В другой раз при исследовании летучих углеводородов, полученных при перегонке масел, колба взорвалась в его руках. Это привело к тяжелому заболеванию, от которого Гей-Люссак страдал почти до конца жизни. Умер Гей-Люссак 9 мая 1850 г. в звании пэра Франции. Перед смертью он высказал сожаление, что покидает науку в то время, когда изобретения электричества и телеграфа удивляют мир.

Еще в 1801 г. Гей-Люссак открыл закон теплового расширения газов<sup>3</sup>. С помощью простого прибора определил расширение воздуха, кислорода, азота и водорода в интервале температур от 0 до 100°C, он нашел, что коэффициент расширения при нагревании газа на 1° в среднем равен 0,00375. Через 40 лет эта величина была скорректирована до  $0,00366 = 1/273$ .

Определению различных свойств газов Гей-Люссак посвятил ряд экспериментальных исследований. Важнейшее из них связано с установлением закона объемных отношений химически взаимодействующих газов. В процессе совместного с Гумбольдтом исследования состава воздуха Гей-Люссак обнаружил, что вода образуется при взаимодействии кислорода и водорода в



Жозеф Луи Гей-Люссак. 6.XII.1778—9.V.1850.

объемном отношении 100:205 (т. е. 1:2). Этот результат навел его на мысль, что, возможно, и другие газы химически взаимодействуют друг с другом в определенных объемных отношениях.

Соответствующее исследование было предпринято в 1806 г. и полностью подтвердило это заключение. Гей-Люссак начал с изучения реакции хлористого водорода с аммиаком и установил, что 100 объемов хлористого водорода вступают в реакцию со 100 объемами аммиака, образуя нейтральную соль. Была изучена также реакция углекислого газа с аммиаком, определены объемные отношения при образовании окислов азота из азота и кислорода.

Гей-Люссак пришел к выводу, что все газы химически взаимодействуют друг с другом в простых кратных объемных отношениях. Объем конечного продукта, полученный в результате взаимодействия, даже если он меньше суммы объемов реагирующих газов, также находится в простом отношении к суммарным объемам исходных газов.

Значение открытого Гей-Люссаком «объемного» закона было огромным. Этот закон наглядно подтверждал атомистическую теорию Дж. Дальтона и представле-

<sup>3</sup> В своем сообщении о законе теплового расширения газов Гей-Люссак упомянул о более ранней работе в этой области Ж. Шарля. Поэтому закон часто называют «Законом Шарля Гей-Люссака».



К. Л. Бертолле

ния о химическом взаимодействии между отдельными атомами веществ, вступающих в реакцию.

Следует, однако, отметить, что Гей-Люссак не смог теоретически обосновать открытый им закон. Объясняется это прежде всего тем, что он не признавал двухступенчатой структуры вещества (атом — молекула), а следовал Дальтону, который игнорировал существование молекул и говорил лишь о существовании «сложных атомов», отождествляя их свойства со свойствами «простых атомов». К тому же Гей-Люссак находился под явным влиянием своего учителя Бертолле и его теории химического сродства, согласно которой большинство соединений обладают переменным, а не постоянным составом. Стремясь примирить теоретические воззрения Бертолле с химической атомистикой Дальтона, Гей-Люссак смог указать лишь на то, что при образовании соединений постоянного состава «химическая сила» сродства действует сильнее, чем в случае образования соединений переменного состава.

Между тем, установленные Гей-Люссаком объемные отношения нескольких простых газовых реакций оказались в противоречии с представлениями Дальтона о

взаимодействии атомов. Так, из 100 объемов хлора и из 100 объемов водорода образуется 100 объемов хлористого водорода. Если допустить, что в равных объемах газов при одинаковых условиях содержится равное число атомов, то этот факт возможно объяснить лишь тем, что сложный атом хлористого водорода должен состоять из половины атома хлора и половины атома водорода. Это, однако, в свою очередь противоречит основной аксиоме атомистики — неделимости атома.

Неудивительно поэтому, что основная критика закона, установленного Гей-Люссаком, последовала со стороны именно Дальтона. В своей «Новой системе химической философии» Дальтон писал: «Его (Гей-Люссака.— Н. Ф.) представления об объемах аналогичны моему представлению об атомах, и если бы можно было доказать, что все упругие флюиды (газы.— Н. Ф.) имеют в одинаковых объемах равное число атомов, или числа их, относящиеся как 1, 2, 3 и т. д., то обе гипотезы стали бы одной с тем различием, что моя гипотеза универсальна, а его применима только к упругим флюидам. Гей-Люссак не мог не видеть, что подобная гипотеза была развита мною и отброшена, как не выдержавшая критики; однако же, поскольку он возродил эту гипотезу, я сделаю несколько замечаний по поводу нее, хотя я не сомневаюсь, что он сам скоро увидит ее непригодность»<sup>4</sup>.

В качестве аргумента Дальтон приводит свои — явно ошибочные — данные об объемных отношениях реагирующих газов. Так, для образования аммиака он дает отношение 100 объемов азота и 250 объемов водорода, полагая при этом на основании своей концепции «максимальной простоты», что в аммиаке на один атом азота приходится один атом водорода. Далее он отмечает, что из тех же соображений для образования окиси азота необходимо на 100 объемов азота 120 объемов кислорода.

На основе таких данных Дальтон высказывает следующее утверждение: «Истина, я полагаю, состоит в том, что газы в любом случае не соединяются в равных или точных объемах, когда же они, как кажется, ведут себя именно так, это происходит вследствие неточности измерений. Ни в одном случае, пожалуй, нет лучшего приближения к математической точности, чем в случае отношения 1 объема кислорода

<sup>4</sup> Дальтон Джон. Сборник работ по атомистике. Л., 1940, с. 61.

к двум объемам водорода, но даже и здесь самые точные измерения, которые я когда-либо производил, дали 1,97 водорода к 1 кислорода»<sup>5</sup>. Дальтон, будучи самоучкой в области химии, был настолько самоуверен, что считал результаты своих далеко не безупречных выводов более достоверными, чем результаты мастера экспериментального исследования Гей-Люссака.

Таким образом, два выдающихся исследователя, каждый из которых сделал важный вклад в науку, не смогли прийти к единой точке зрения, несмотря на то, что их теории взаимно дополняли одна другую. Это наглядный пример влияния силы традиций, ограничивавших круг понятий и концепций, которые лежали в основе их представлений.

В 1811 г. итальянский физик А. Авогадро, заметивший указанное противоречие объемного закона Гей-Люссака, ввел в науку понятие «молекула» и сформулировал свой известный закон объемов, из которого следовало, что в равных объемах газов при одинаковых условиях содержится равное число молекул. Появление этого важнейшего обобщения закона Гей-Люссака было, однако, встречено ученым миром с полным недоверием. Лишь 50 лет спустя закон Авогадро занял подобающее место в науке в качестве фундаментального положения. Причины столь длительного непризнания закона Авогадро крылись в недоверии атомистов к исходному закону объемов Гей-Люссака.

На основе установленных объемных отношений реагирующих газов Гей-Люссак предпринял исследование плотностей газов и предложил метод расчета плотностей взаимодействующих газов из значений плотности одного из газов и конечного продукта. Это исследование имело большое значение для установления точных атомных весов газов и летучих жидкостей. Принцип метода Гей-Люссака состоял в определении объема пара взвешенного количества вещества. Некоторое время спустя (1826) Ж. Б. Дюма предложил видоизменение метода Гей-Люссака, в котором определялся вес данного объема газа. Сам по себе метод Гей-Люссака оказался хорошо применим к летучим веществам, однако он требовал значительных количеств вещества для исследования и впоследствии (1868) был усовершенствован А. В. Гофманом. Гей-Люссак успешно применил в даль-



Л. Ж. Тенар

нейшем свой метод определения плотности пара для контроля при анализе органических соединений, в частности циана, спирта и эфира (1815).

Занимаясь определением теплостойкости газов (1807), Гей-Люссак вычислил отношение теплостойкости при постоянном давлении и при постоянной температуре и нашел, что его величина постоянна — 1,372 (эта величина несколько меньше действительной). Гей-Люссак занимался также изучением капиллярных явлений, определением коэффициента температурного расширения жидкостей, исследовал влияние атмосферного давления на кристаллизацию из растворов. Ему принадлежат исследования физико-химических свойств веществ в зависимости от степени их чистоты. В 1816 г. он впервые с высокой точностью определил точки кипения абсолютного алкоголя, эфира и сероуглерода.

Гей-Люссак доказал, что растворимость ряда солей, в том числе хлоридов и сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов, зависит от температуры. Первые (1819) результаты этого исследования были представлены им в виде графиков, которые, по мнению их автора, не только дают наглядное представление о влиянии

<sup>5</sup> Там же, с. 62.

температуры на растворимость, но и предоставляют возможность быстрого установления величины растворимости соли при любой температуре по кривым. Гей-Люссак изучал также растворимость ряда органических веществ в спирте. Все это свидетельствует о широте его научных интересов и мастерстве экспериментатора, которое он доказал и в области неорганической химии.

Он подробно изучил свойства иода, открытого в 1811 г. Б. Куртуа, и его соединений: плотность, растворимость, летучесть, электропроводимость и др.; доказал, что по химическим свойствам иод близок хлору, а иодистоводородную кислоту Гей-Люссак открыл одновременно с английским химиком и физиком Г. Дэви.

Одним из крупнейших открытий Гей-Люссака, совершенных совместно с Л. Ж. Тенаром<sup>6</sup>, было получение щелочных металлов методом восстановления гидроокисей этих металлов. Металлический калий впервые получен Дэви электролизом твердого едкого кали с помощью вольтова столба. Это открытие произвело сенсацию в ученом мире. По распоряжению самого Наполеона Гей-Люссак и Тенар в Политехнической школе приступили к монтажу мощного вольтова столба. Однако прежде, чем этот прибор был приведен в действие, Гей-Люссак и Тенар решили попытаться получить металлический калий химическим путем — восстановлением гидроокиси при высоких температурах. Поместив едкое кали в железную трубу и накалив ее добела, они действительно получили металлический калий, а затем и натрий. Химический метод, в отличие от метода Дэви, позволял получать эти металлы в значительных количествах, что обеспечивало возможность обстоятельного изучения их свойств. Позднее Гей-Люссак и Тенар разработали еще один способ получения щелочных металлов — накаливанием карбонатов в смеси с углем и льняным маслом.

При изучении химических свойств новых металлов Гей-Люссак и Тенар получили несколько новых соединений. В 1809 г. они сопоставили аммиак и амиды калия и натрия. В следующем году

получили перекиси этих металлов, а позднее — перекись бария.

Пользуясь разработанной техникой восстановления при высоких температурах, Гей-Люссак и Тенар получили в 1808 г. в свободном состоянии бор путем нагревания борного ангидрида с металлическим калием в медной трубке. Они же предложили и название элемента — бор.

Самое непосредственное участие Гей-Люссак и Тенар приняли в решении волновавшего тогда химиков вопроса о том, какую роль играют кислород и водород в составе кислот. В начале столетия общепризнанной была «кислородная теория кислот» А. Л. Лавуазье, согласно которой все кислоты представляли собой окислы соответствующих элементов. Теорию кислородных кислот поддерживал и учитель Гей-Люссака Бертолле. Он считал соляную кислоту кислородной, основываясь на явлении выделения кислорода из раствора хлора в воде под воздействием солнечного света. Состав соляной кислоты объяснялся на основе признания существования особого элемента — «мурия», окисел которого представлял собой так называемую муриевую кислоту (т. е. соляную). Дальнейшее окисление муриевой кислоты приводило к образованию «окисленной муриевой кислоты». Бертолле объяснил свой опыт разложением окисленной муриевой кислоты на солнечном свете с выделением кислорода.

В 1809 г. Гей-Люссак и Тенар приняли исследование по определению состава муриевой кислоты. Но все попытки выделить из муриевой кислоты кислород окончились неудачей. Эта кислота была признана бескислородной. Дэви, который в эти же годы изучал состав муриевой кислоты, также пришел к выводу, что она не содержит кислорода и является «простым телом», получившим название «хлорин». Вскоре это название было сокращено до «хлор».

Получив в 1811 г. синильную кислоту в газообразном состоянии, Гей-Люссак убедился, что это также бескислородная кислота и что, таким образом, существует несколько кислот, не содержащих кислорода. Эти кислоты он предложил называть «гидрохлоратами». Название «гидрохлористая кислота» (соляная) применяется фармацевтами и до сих пор.

Позднее, в 1815 г., Гей-Люссак изучил состав синильной кислоты и нашел, что она представляет собой соединение особого радикала «цианогена» с водородом. Он получил соли синильной кислоты и ус-

<sup>6</sup> Тенар Л. Ж. (1777—1857), ближайший сподвижник Гей-Люссака, с которым его связывала многолетняя совместная деятельность и дружба. С 1804 г. по 1837 г. он был профессором Политехнической школы и других учебных заведений Парижа.

становил, что цианоген играет в составе кислоты роль элемента, такую же, какую играет, например, хлор в составе соляной кислоты. Соединение цианогена с хлором (хлористый циан) он получил прямым действием хлора на синильную кислоту, осуществив реакцию замещения водорода хлором. В дальнейшем подобные реакции замещения (металепсия) стали основой для создания «теории замещения». Наконец, Гей-Люссак выделил цианоген (циан) в свободном состоянии. Результаты этого исследования оказались базой для возникновения теории радикалов в органической химии, одним из основателей которой был ученик Гей-Люссака Ю. Либих.

Гей-Люссак провел ряд исследований и по проблемам только что зарождавшейся в первые десятилетия XIX в. органической химии. В 1818 г. он получил иодистый этил, впоследствии нашедший широкое применение в органическом синтезе, а в следующем году — глюкозу из целлюлозы. Нагревая различные органические вещества — сахар, крахмал, резину и другие, а также некоторые органические кислоты, он получил щавелевую кислоту (1829).

Гей-Люссак принял участие в открытии явления изомерии. В 1824 г. вместе с Либихом он произвел элементный анализ гремучей (фульминовой) кислоты. Оказалось, что состав этой кислоты совпадает с составом циановой кислоты, установленном Ф. Вёлером. Гей-Люссак высказал мнение, что различие этих кислот можно объяснить лишь различным взаимным расположением атомов.

Большое значение получили работы Гей-Люссака и Тенара в области органического элементного анализа. Заинтересовавшись в 1810 г. составом веществ растительного происхождения, они построили прибор для элементного анализа органических соединений. Сожжение испытуемого вещества в этом приборе производилось в вертикальной трубке, запаянной снизу и опирающейся на сетку, которая подогревалась на спиртовой горелке. В качестве окислителя применялась хлорноватокалиевая соль. Образовавшиеся при сжигании газы собирались в бутылки над ртутью. Объем углекислоты определялся путем ее поглощения едкой щелочью, количество кислорода — по разности. При анализе азотсодержащих соединений количество азота определялось дополнительно с помощью эвдиометра. Несколько позднее, в 1815 г., Гей-Люссак

и Тенар заменили хлорноватокалиевую соль окисью меди. Прибор для органического анализа нашел широкое применение, и И. Я. Берцелиус назвал работу Гей-Люссака и Тенара «первым удачным опытом для элементного анализа органических соединений». С помощью этого прибора его авторы произвели анализы целого ряда органических веществ, в том числе органических кислот, сахара, крахмала, различных растительных продуктов.

Гей-Люссак внес существенный вклад и в методы неорганического химического анализа. Он явился одним из основоположников объемного (титриметрического) анализа. Его интересы в области аналитической химии были связаны с решением ряда практических химико-технических задач. Одна из таких задач возникла в связи с необходимостью совершенствования метода отбеливания тканей хлором, предложенного Бертолле. Слишком крепкие растворы разъедали ткань, слабые растворы не оказывали необходимого действия. Нужна была точная дозировка хлора в белильных растворах. Гей-Люссак значительно усовершенствовал метод хлорометрии, предложенный Ф. А. Декрузилем в конце XVIII в. В 1824 г. этот, в сущности новый, точный метод хлорометрии он описал в своей «Инструкции по применению хлорной извести». Гей-Люссак разработал тип алкоголиметра — прибора для определения крепости спирта (1824). В 1830 г. он опубликовал инструкцию по определению пробы серебра «мокрым путем». Эта работа была связана с потребностями монетного двора. Он внес определенный вклад и в технологию. Химикам хорошо известна «башня Гей-Люссака», предложенная им в 1827 г. для улавливания окислов азота, выходящих из свинцовых камер, что значительно улучшило и удешевило производство серной кислоты.

Многочисленные исследования Гей-Люссака характеризуют его как замечательного мастера-экспериментатора. Все его работы отличаются обстоятельностью и служат прекрасным примером творческого подхода к решению научных задач.

В 1850 г. Д. Араго на заседании Парижской Академии наук, посвященном памяти Гей-Люссака, сказал: «Во всех странах, где интересуются процветанием наук, имя его будет произноситься с восхищением и почтением». Эти слова справедливы и в наши дни.

## Лазер измеряет скорость

Б. С. Ринкевичюс



Бронюс Симвич Ринкевичюс, кандидат технических наук, доцент кафедры физики Московского энергетического института. Занимается разработкой лазерных методов диагностики потоков жидкости и газа. Автор книги: Лазерная анемометрия. М., 1978.

С момента появления лазеров — источников когерентного света — в квантовой электронике одновременно развивались два направления. Первое связано с созданием самих лазеров и исследованием происходящих в них физических процессов, второе — с различными применениями лазеров, которые оказались весьма многочисленными.

В данной статье освещено одно из перспективных направлений применения маломощных газовых лазеров. Это — измерение скорости различных объектов как с отражающей поверхностью, так и потоков жидкости, газа и т. п. Проблема измерения скорости становится все более актуальной по мере развития науки и техники, с повышением роли метрологии в эффективности научных исследований.

Прежде чем рассматривать лазерную методику измерения скорости, напомним некоторые сведения о потоках и традиционных методах измерения.

Потоки жидкости и газа играют существенную роль в нашей жизни, хотя мы не всегда замечаем это. Нас окружает пространство, в котором происходит движение воздуха. Метеорология как наука немыслима без измерений скорости ветра, скорости перемещения облаков. Крайне сложные и мало изученные течения на-

блюдаются в Мировом океане. В биологии возникает необходимость изучать закономерности движения крови по сосудам и закономерности движения воздуха по дыхательным путям. Исключительно важная роль принадлежит потокам жидкости и газа в технике. Энергетика, авиация, космонавтика, порошковая и вакуумная металлургия, химическая технология — вот лишь некоторые области человеческой деятельности, где используются такие потоки. При этом скорость потока — один из основных его параметров.

Каковы традиционные методы измерения скорости? Средняя скорость ветра определяется с помощью анемометра, в котором фиксируется число оборотов специальной вертушки. Средняя скорость газовых потоков определяется с помощью трубки Пито по измерению давления. Для этих же целей используется термоанемометр, принцип действия которого основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей проволоочки, нагреваемой электрическим током. Все перечисленные методы являются зондовыми. Отсюда следуют их основные недостатки: возмущение потока, необходимость калибровки и тарировки, введение различного рода поправок.

Всегда предпочтительны бесконтактные методы измерения скорости потока. К ним относятся оптические, позволяющие проследить движение среды, если она оптически неоднородна.

Но как измерить скорость потока прозрачной оптически однородной жидкости или газа? Для этого нужно выделить малый объем, а потом проследить за его движением. Это можно сделать путем введения мелких частиц, отличающихся по оптическим свойствам от окружающей среды. Для воды такими частицами могут быть полистироловые шарики диаметром менее 1 мкм, а для газов — твердые частицы, например дыма. Вместе с тем как в воде, так и в воздухе всегда существует некоторое количество посторонних частиц, которые также можно использовать для получения информации о скорости потока, хотя количество их весьма мало (примерно 1 частица в 1 мм<sup>3</sup>). Кроме того, имеется широкий класс потоков, в которых частицы являются их неотъемлемой частью, например, капельки воды в воздухе, пузырьки газа в воде; такие потоки называются двухфазными.

Проследить за движением выделенного объема можно путем его фотографирования. На пленке получаются размытые изображения частиц (треки), длина которых однозначно связана со скоростью. Такой метод обладает хорошей наглядностью, однако возникают трудности с обработкой результатов, так как для получения статистически средних значений необходимо измерить до 1000 треков.

Более совершенным является кинематический метод, суть которого состоит в измерении времени пролета частицей определенного расстояния (базы), например между двумя узкими световыми пучками. Регистрация рассеянного света ведется с помощью фотоприемника: замеряется время между двумя импульсами фототока. Этот метод менее трудоемок, чем фотографический, однако ему свойственна недостаточная локальность измерений.

Появление лазеров позволило перейти к решению проблемы измерения скорости с принципиально новых позиций: путем измерения частоты отраженного или рассеянного оптическими неоднородностями лазерного излучения.

В Московском энергетическом институте (МЭИ) работы в этом направлении были начаты в 1965 г. по инициативе В. А. Фабриканта.

## ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ

Рассмотрим, как связана частота электромагнитных колебаний в отраженном пучке со скоростью движения какого-либо отражающего тела, например подвижного зеркала. Если частота падающего на зеркало излучения равна  $\nu_0$ , то отраженный пучок характеризуется частотой  $\nu_{отр}$ , которая отличается от частоты падающего пучка. Это обусловлено хорошо известным эффектом Доплера, открытым еще в 1842 г. и широко используемым в радиолокации и акустике. При нормальном падении частота отраженного пучка равна  $\nu_{отр} = \nu_0(1 \pm 2u/c)$ , где  $u$  — скорость движения зеркала,  $c$  — скорость света,  $\pm$  — показатель преломления воздуха. Знак «плюс» соответствует движению зеркала навстречу падающему пучку, а знак «минус» — движению от источника света.

Как видно из этой формулы, относительное изменение частоты очень мало, поскольку оно определяется отношением скорости частицы к скорости света. Так, при  $u=3$  мкм/с,  $n=1$ ,  $c=3 \cdot 10^8$  м/с, это отношение составляет  $10^{-14}$ , т. е. из-за эффекта Доплера частота отраженного пучка изменится только в 14-м знаке. Если частота падающего света  $\nu_0=5 \cdot 10^{14}$  Гц, то в отраженном частота изменится только на 5 Гц.

Современные методы не позволяют измерять частоту световой волны с точностью до 14-го знака. Однако для определения скорости такая точность не нужна: достаточно знать только разность частот отраженного и падающего на зеркало излучения. Величины смещения частоты порядка 5 Гц и меньшие современные методы позволяют определить с достаточной надежностью и точностью. Следовательно, по измерению смещения частоты отраженного пучка можно установить скорость и направление движения зеркала.

Определение скорости потоков производится по измерению смещения частоты света, рассеянного движущейся в потоке оптической неоднородностью (частицей). С учетом эффекта Доплера частота рассеянного света  $\nu_{рас}$  определяется следующим соотношением:  $\nu_{рас} = \nu_0 + \frac{k u}{2\pi}$ ,

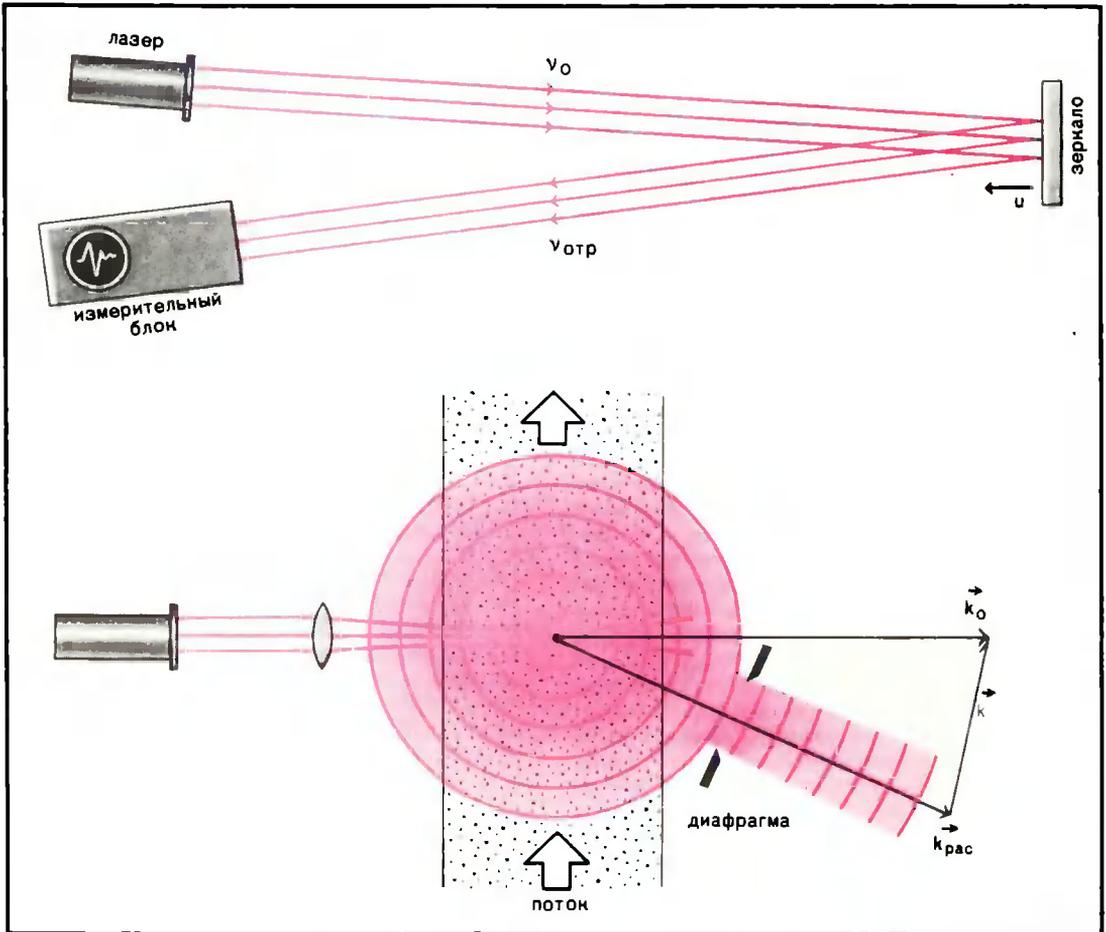
где  $\vec{k} = \vec{k}_0 - \vec{k}_{рас}$  — вектор чувствительности,  $\vec{k}_0$  — волновой вектор падающего пучка,  $\vec{k}_{рас}$  — волновой вектор рассеян-

ного пучка. Из этого соотношения видно, что частота рассеянного пучка зависит от скалярного произведения вектора чувствительности и вектора скорости.

### ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И УСКОРЕНИЙ

Рассмотрим, как осуществляется измерение других параметров движения по частоте отраженного или рассеянного света. Если известна скорость движения тела, то нетрудно найти перемещение за опре-

деленный промежуток времени и ускорение. Измерение этих параметров можно производить с помощью интерферометра Майкельсона, в котором падающий и отраженный пучки совмещаются полупрозрачным зеркалом. В результате интерференции световых волн возникает модуляция интенсивности лазерного излучения, которая регистрируется фотоприемником. При этом частота модуляции фототока равна доплеровскому сдвигу частоты  $\nu_d = \nu_{отр} - \nu_0$ . Она легко измеряется частотомером.



Отражение излучения лазера от движущегося со скоростью  $u$  зеркала [вверх] сопровождается изменением частоты, регистрируемой измерительным блоком. Связь между частотой  $\nu_{отр}$  и  $\nu_0$  устанавливается законом Доплера. Если световой пучок от лазера сфокусировать линзой на движущийся поток мелких частиц, то произойдет рассеяние света [вниз]. Частота

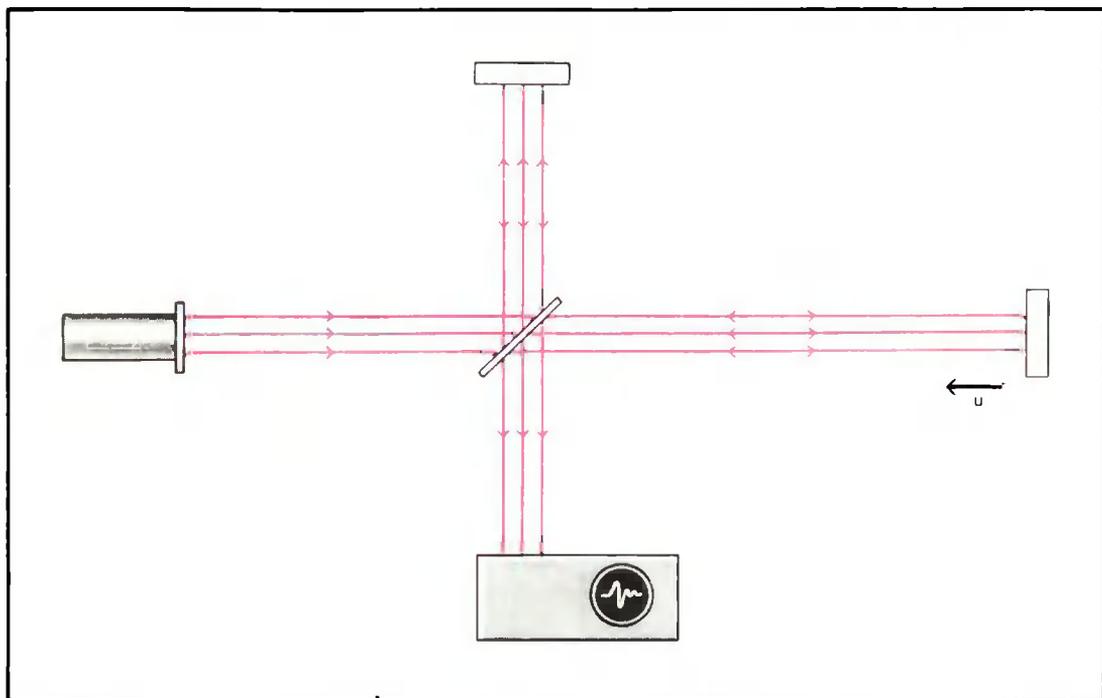
рассеянного пучка, выделенного диафрагмой, равна  $\nu_{рас} = \nu_0 + \frac{1}{2\pi} \vec{k} \cdot \vec{u}$ .  $\vec{k} = \vec{k}_0 - \vec{k}_{рас}$ , где

$\vec{k}_0$  и  $\vec{k}_{рас}$  — волновые векторы падающего и рассеянного света. На других схемах — обозначения те же.

Величина перемещения зеркала  $L$  определяется выражением  $L = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot N$ , где  $\lambda$  — длина световой волны в вакууме,  $N$  — число периодов модуляции за время перемещения. Очевидно, что смещение зеркала на  $\lambda/2$  приводит к образованию одного периода модуляции. Следует обратить внимание, что в формулу для  $L$  входит показатель преломления воздуха, который определяется целым рядом факторов, таких как его состав, температура, давление и влажность. Поскольку все они

погрешность измерения перемещения составляет  $10^{-7}$ , а разрешающая способность  $10^{-3}$  мкм при максимальной разности хода лучей до 40 м. Это означает, что можно заметить смещение зеркала на  $10^{-3}$  мкм, когда расстояние от интерферометра до зеркала составляет 40 м.

При измерении скорости изменения доплеровского сдвига частоты (т. е. скорости зеркала) определяется ускорение движения. Таким образом, на базе интерферометра Майкельсона можно создать прибор для гравитационных измерений.



Лазерный доплеровский измеритель перемещений. Излучение лазера направляется на полупрозрачное зеркало. Отраженный свет попадает на движущееся со скоростью  $u$  зеркало. Затем оба луча поступают в измерительный блок, состоящий из фотоприемника и счетчика импульсов.

являются случайными, это накладывает ограничения на точность измерений перемещения.

В разработанном в Институте автоматизации и электротехники Сибирского отделения АН СССР приборе<sup>1</sup> относительная

Для этого интерферометр должен быть расположен так, чтобы подвижное зеркало могло совершать свободное падение под действием силы тяжести.

### ЛАЗЕРНЫЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ АНЕМОМЕТРЫ

Измерение скорости потока с применением эффекта Доплера — задача намного более сложная, чем рассмотренное измерение скорости движущегося зеркала. Во-первых, частица рассеивает незначительную долю мощности падающего пучка (около  $10^{-4}\%$ ), что затрудняет регистрацию рассеянного света. Во-вторых, при измерении малых ско-

<sup>1</sup> Коронкевич В. П., Ленкова Г. А. — «Автоматизация», 1972, № 6; Арнаутов Г. П., Гик Л. Д. и др. — Там же, 1972, № 5.

ростей необходимо получать интерференцию рассеянного и падающего пучков с учетом их распространения в среде со случайными параметрами. Это усложняет определение доплеровского сдвига частоты. В-третьих, при измерении больших скоростей (10 км/с) доплеровский сдвиг частоты оказывается столь значителен (до 30 ГГц), что его трудно измерить с помощью обычной радиоизмерительной аппаратуры. Кроме того, возникает чисто техническое затруднение, заключающееся в необходимости обеспечения локальности измерений.

Таким образом, при создании приборов для измерения скоростей жидкости и газа — лазерных доплеровских анемометров (ЛДА) — необходимо было решить целый комплекс задач как оптического характера, так и радиофизического и гидродинамического.

Прежде всего, большое разнообразие потоков потребовало разработки различных оптических схем: одно-, двух- и трехкомпонентных, с регистрацией знака скорости, с высокой локальностью измерений и т. д. Кроме того, понадобилось создать специальную радиоизмерительную аппаратуру для определения параметров электрического сигнала, носящего случайный характер в соответствии со случайным расположением частиц в потоке и со случайной их скоростью. Обычные частотомеры здесь оказались непригодными. Наконец, необходимо было разработать технологию получения рассеивающих частиц и введения их в однородные потоки жидкости и газа, установить закономерности между скоростью частиц и скоростью среды, между параметрами доплеровского сигнала и параметрами частиц.

**Оптические схемы ЛДА.** Рассмотрим, как практически производится измерение скорости потока. В одной из схем<sup>2</sup> лазерный пучок разделяется светоделителем, и поток зондируется не одним пучком, а двумя. В области пересечения пучков образуется интерференционная картина (световая решетка) — чередование темных и светлых полос, направленных вдоль биссектрисы угла пересечения пучков. При движении малой частицы через это интерференционное поле рассеянный свет оказывается промодулированным по интенсивности. Если частица находится в темной полосе, рассеянный свет отсут-

ствует, а если в светлой полосе — он максимален. Регистрируя рассеянный свет с помощью фотоприемника и измеряя период изменения фототока  $T$  (или частоту), можно определить скорость частицы по соотношению  $u = \lambda/T$ , где  $\lambda$  — период интерференционного поля,  $\lambda = \frac{\lambda_0}{2} \sin \frac{\alpha}{2}$ , где  $\alpha$  — угол между пучками.

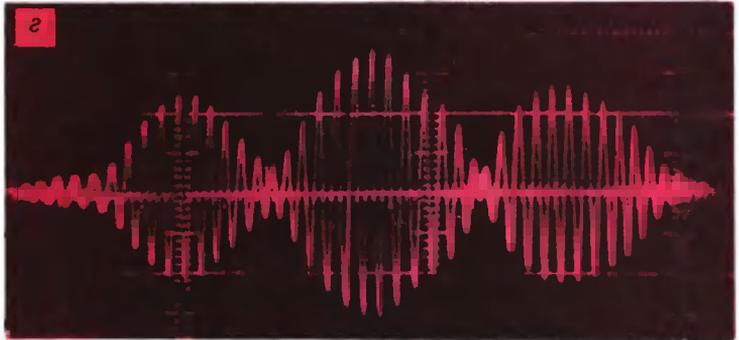
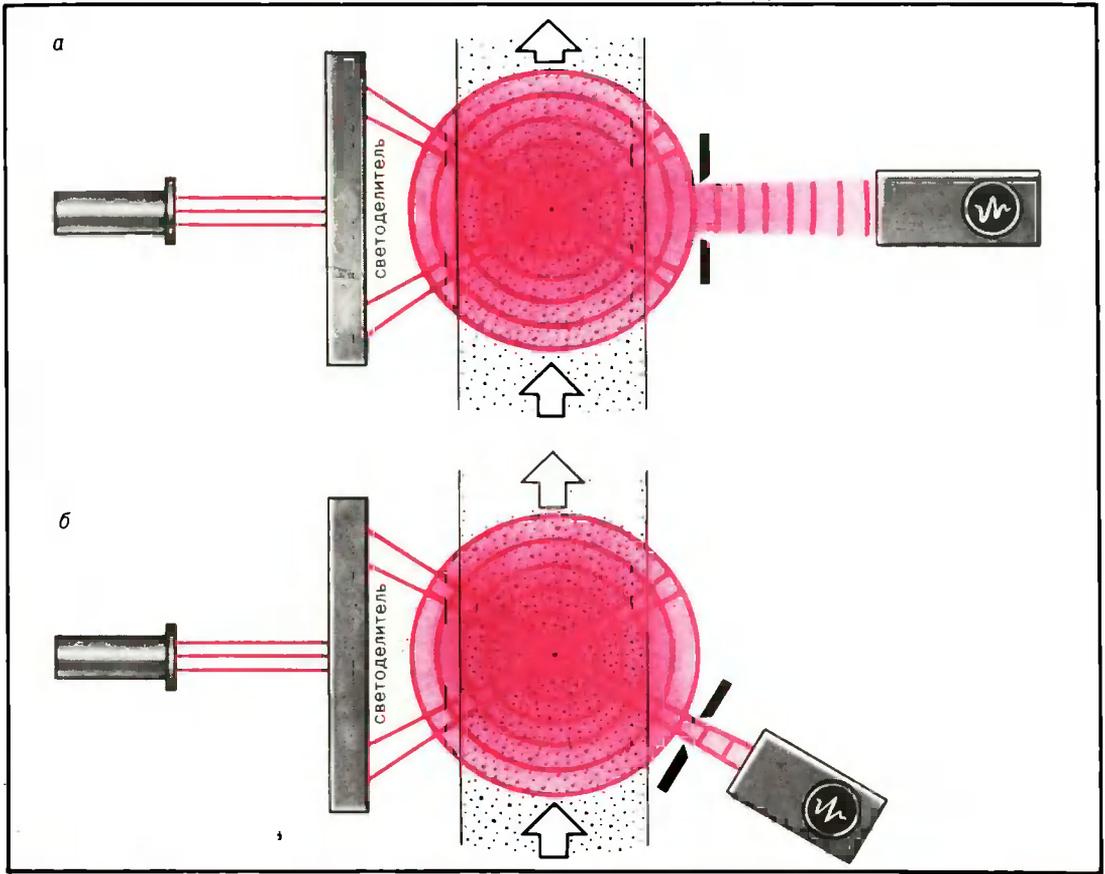
На первый взгляд может показаться, что здесь эффект Доплера ни при чем. Однако это не так. В направлении фотоприемника распространяются две рассеянные волны с различными частотами. Интерференция этих волн приводит к образованию модуляции интенсивности света. Период модуляции в точности совпадает с величиной  $\frac{1}{T}$  и частота фототока равна  $\nu_d = \frac{1}{2\pi} k u$ . Для обсуждаемой схемы вектор  $k = \frac{\lambda}{2\pi} \sin \frac{\alpha}{2}$  и направлен перпендикулярно биссектрисе угла пересечения пучков.

В другом варианте такой схемы фотоприемник располагается на пути зондирующего пучка. В этом случае на светочувствительной поверхности фотоприемника происходит интерференция рассеянного и падающего пучков, в результате чего образуются перемещающиеся интерференционные полосы, вызывающие модуляцию фототока.

Очевидно, что при таком подходе измеряется только одна проекция скорости частиц, например на ось  $x$ . А как измерить другую проекцию? Самый простой способ — повернуть плоскость пучков на  $90^\circ$  и найти проекцию на ось  $y$ . Одновременно две проекции можно измерить, если создать двумерную световую решетку, представляющую собой две независимые решетки, полосы которых расположены ортогонально. Если осуществить регистрацию рассеянного света от этих двух решеток независимо, то в каждом канале будет содержаться информация только об одной проекции вектора скорости.

Понятно, что изменение направления движения частицы не сказывается на частоте электрического сигнала от фотоприемника. Схему можно сделать чувствительной к направлению движения, если образовать перемещающуюся световую решетку. Для этого необходимо направить в область измерения лазерные пучки с различными частотами. Световая решетка смещается в сторону пучка с большей ча-

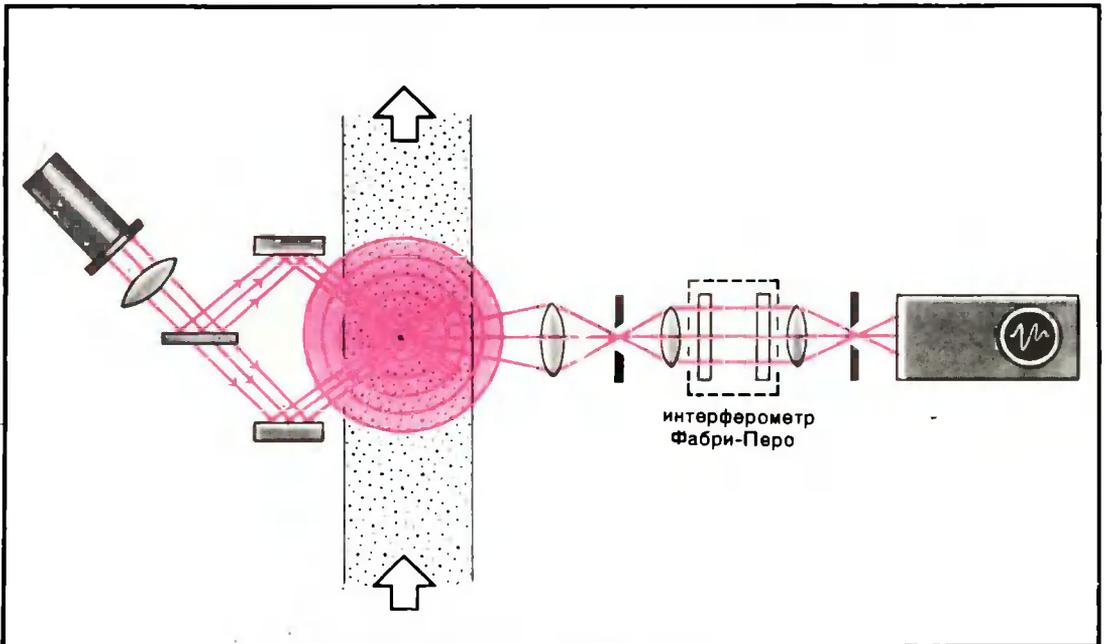
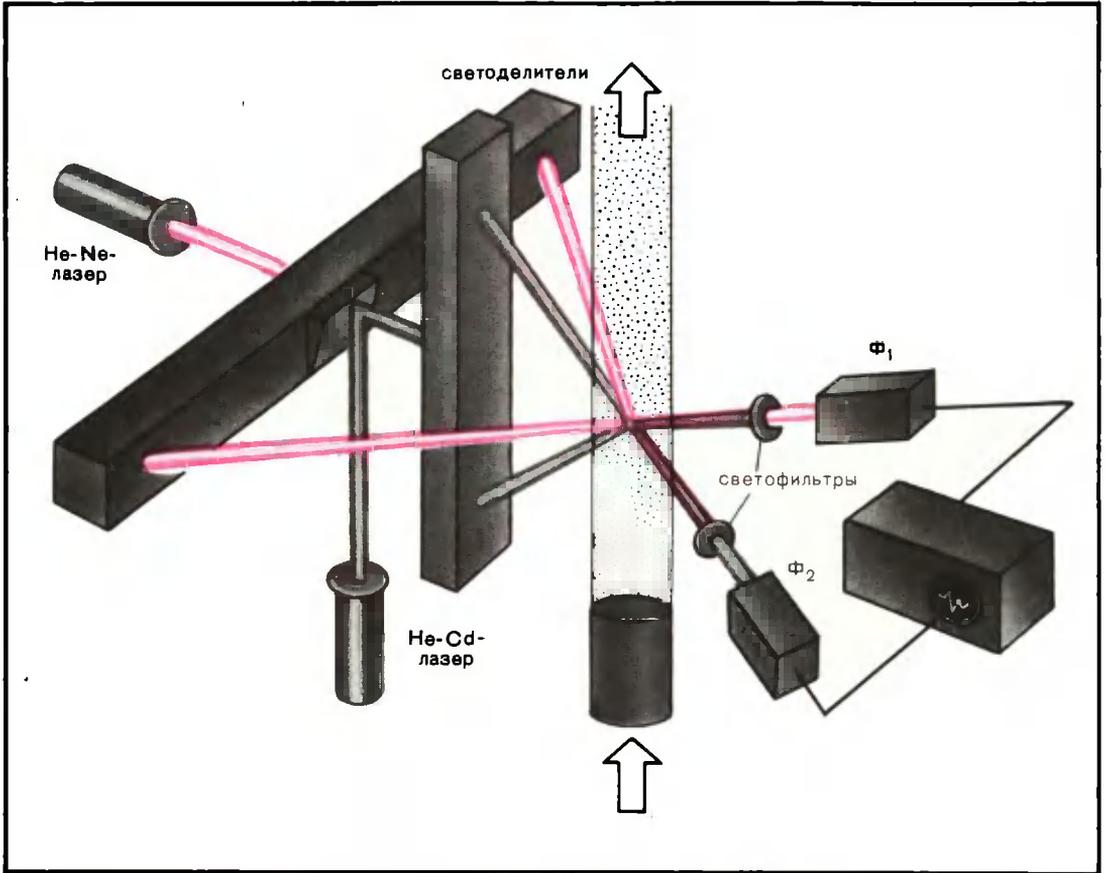
<sup>2</sup> Ринкевичюс Б. С. — «Радиотехника и электроника», 1969, т. 14, № 10.



Оптические схемы однокомпонентных лазерных доплеровских анемометров: а — дифференциальная, б — с опорным пучком; в — фотографический снимок области пересечения двух пучков, где образуется световая решетка. При движении малых частиц через такую решетку возникают импульсы фототока, частота которых зависит от скорости [г].

стотой. В этом случае частота сигнала определяется скоростью частицы относительно движущейся решетки. Если их скорости направлены в одну сторону, частота будет меньше, чем при неподвижной решетке, а если в разные стороны, то частота будет больше.

Для создания двух независимых решеток применяются два лазера с различной длиной волны излучения, например He—Ne- и He—Cd-лазеры. Можно исполь-



Оптическая схема двухкомпонентного доплеровского анемометра. Световые пучки от двух лазеров, излучающих на различных частотах, поступают на светоделители, а затем направляются на движущиеся частицы. Свет, отраженный от этих частиц попадает на соответствующие фотоприемники  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , сигналы от которых регистрируются системой, измеряющей доплеровские сдвиги частот. Результат этого измерения дает возможность судить о величине и направлении вектора скорости.

Оптическая схема лазерного доплеровского анемометра для исследования сверхзвуковых потоков. Для определения больших доплеровских сдвигов частоты используется интерферометр Фабри — Перо.

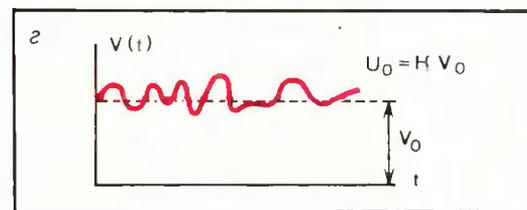
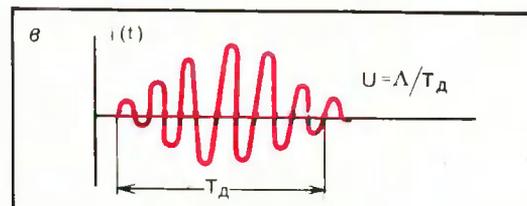
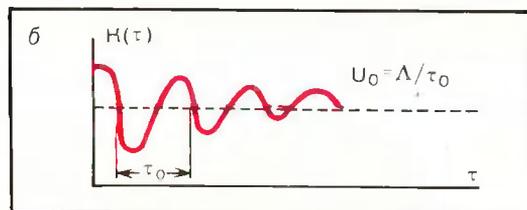
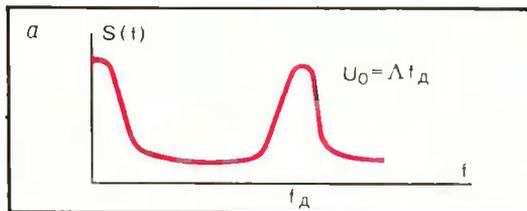
зовать и один аргонный лазер, излучающий одновременно на двух длинах волн. Раздельная регистрация рассеянного света осуществляется с помощью интерференционных фильтров. Решающее устройство выдает данные как о величине, так и о направлении вектора скорости.

Полный вектор скорости определяется с помощью трехмерных световых решеток.

Для измерения больших скоростей используются оптические схемы, в которых доплеровский сдвиг частоты определяется с помощью интерферометра Фабри — Перо<sup>3</sup>. К достоинствам таких схем следует отнести практически неограниченный верхний предел измеряемых скоростей (вплоть до десятков километров в секунду), возможность определения знака скорости, простоту конструкции, надежность работы.

#### Радиоизмерительный канал ЛДА.

Как уже отмечалось, каждая частица, пролетая измерительный объем, дает импульс фототока с высокочастотным заполнением. Эти импульсы имеют случайную амплитуду и момент появления, так как размер частиц может быть различным и расположены они в пространстве хаотично. Частота модуляции — тоже случайный параметр из-за случайного значения скорости. Кроме того, имеется еще одна особенность доплеровского сигнала



Для анализа доплеровского сигнала применяются различные приборы. Анализаторы спектра измеряют среднюю скорость  $u_0$  по частоте [а] и степень турбулентности по ширине спектра [а], корреляторы — среднюю скорость по времени корреляции  $T_0$  и степень турбулентности по затуханию корреляционной функции [б]. Счетчик импульсов определяет скорость по длительности  $n$  импульсов за время пролета одной частицей измерительной области. Дальнейшая обработка дискретных значений скорости позволяет найти все параметры потока [в]. Следящая система выдает напряжение  $V(t)$ , пропорциональное мгновенному значению скорости потока. Средняя скорость  $u_0$  пропорциональна среднему значению напряжения  $V_0$ , а степень турбулентности — среднеквадратичному значению пульсационной составляющей напряжения [г].

<sup>3</sup> Ринкевичюс Б. С., Толкачев А. В. — «Квантовая электроника», 1974, т. 1, № 9.

ла — импульсы могут перекрываться, если в измерительном объеме находится больше одной частицы, или вообще исчезать, если частицы в измерительном объеме отсутствуют. Все это не позволяет использовать стандартные частотомеры, применяемые обычно для измерения частоты электрического сигнала, и приводит к необходимости использования приборов, предназначенных для анализа случайных процессов, а также к разработке специальной радиоизмерительной аппаратуры.

Из стандартных приборов для анализа доплеровского сигнала используются спектроанализаторы, позволяющие измерять спектр этого сигнала  $S(f)$  и аналоговые корреляторы, с помощью которых измеряют корреляционную функцию  $K(\tau)$ . Эти приборы выдают статистически усредненные данные по большому числу частиц.

Специально разработанными приборами для анализа доплеровского сигнала являются счетчики импульсов, следящие системы и фотонные корреляторы. Приборы типа счетчика импульсов позволяют измерить период модуляции в отдельном импульсе фототока. Для этого измеряется либо число колебаний за определенный промежуток времени, либо длительность  $n$  колебаний в импульсе, которая затем делится на их число. Счетчики импульсов надежно работают только в том случае, когда импульсы не перекрываются. Статистическое усреднение по частицам производится отдельно.

В системах, следящих за частотой доплеровского сигнала, на выходе получается напряжение  $V(t)$ , пропорциональное мгновенной частоте (скорости), что существенно упрощает дальнейшую обработку информации. Эти приборы надежно работают при перекрывающихся импульсах фототока.

В последнее время для обработки информации в ЛДА разработаны фотонные корреляторы, которые производят подсчет фотонов с последующим дискретным вычислением корреляционной функции.

## ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛДА

Рассмотрим некоторые области применения лазерных доплеровских анемометров. Работы в этом направлении проводились нами совместно с другими научными организациями.

**Тепло- и массоперенос.** Неожиданными явились результаты исследования

естественной конвекции в замкнутых объемах, проведенные с помощью ЛДА. Эта задача — старейшая в области теплопередачи. Однако, как часто бывает, там, где, казалось бы, все очевидно, при детальном изучении и возникают непредвиденные результаты.

Исследовалась естественная конвекция в горизонтальном замкнутом цилиндре, частично заполненном жидкостью и обогреваемом по поверхности. Ожидалось, что жидкость будет подниматься около стенок, а в середине опускаться. Так обычно описывается это явление в литературе по теплопередаче, и измерения при малых тепловых потоках не противоречат такому представлению.

Однако при определенных условиях картина течения изменяется: около обогреваемой стенки рядом с восходящим потоком появляется нисходящий поток, а в центральной части имеется застойная зона, где жидкость перемешивается слабо. Под свободной поверхностью также имеются два потока с противоположными направлениями движения. Верхние потоки направлены от стенок к центру, затем поворачивают назад, образуя нижние потоки, направленные от центральной части к стенкам<sup>4</sup>.

Одно из возможных объяснений этого явления заключается в том, что поступающая в верхнюю часть объема жидкость не успевает охлаждаться и, как более легкая, не может опускаться в центральной части, а образует вторичный горизонтальный поток, расположенный над более холодной жидкостью.

Кроме рассмотренной выше задачи, ЛДА используются для исследования высокотемпературных потоков плазмы, пламени и криогенных потоков.

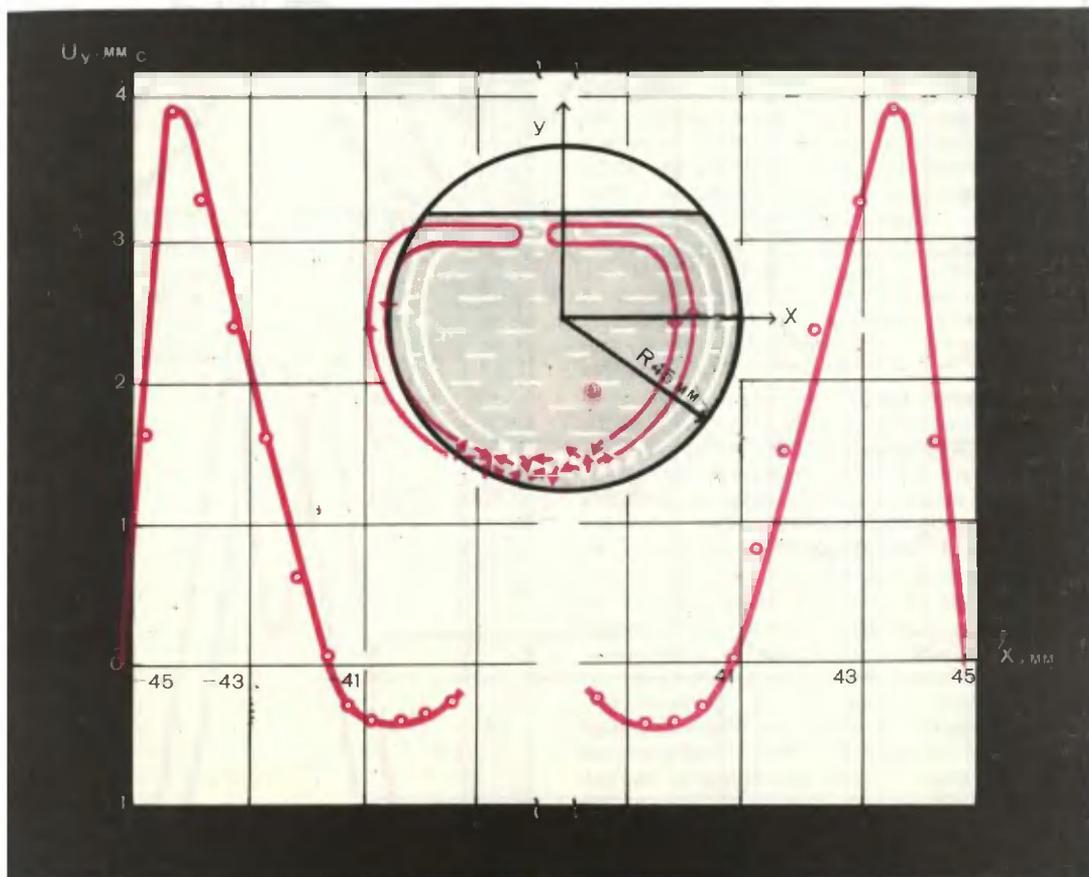
**Гидродинамика неньютоновских жидкостей.** Большие возможности открывает лазерный метод в изучении течений неньютоновских жидкостей, т. е. сред с различными полимерными добавками. Покажем это на примере упруговязких жидкостей типа расплавов и концентрированных растворов полимеров, течение которых сопровождается рядом эффектов, резко отличающих их от течения вязких ньютоновских жидкостей. Большая длина и гибкость полимерных молекул приводят к способности упруговязких жид-

<sup>4</sup> Аменицкий А. Н., Ринкевичюс Б. С., Кирсанов М. А. — «Теплофизика высоких температур», 1974, т. 12, № 1.

костей накапливать в процессе течения большие высокоэластичные (обратимые) деформации, чем и объясняются аномальные эффекты, возникающие при их движении. Особый интерес представляет явление неустойчивого течения, когда стационарный режим в каналах сменяется нестационарным. При этом в канале могут возникать пристенное скольжение, трещины, а на струе, выходящей из канала, появляются разнообразные по форме искажения поверхности.

Это явление изучалось на низкомолекулярном полиизобутилене<sup>5</sup>. Полимер при давлении около 400 атм проходил через круглый стеклянный капилляр радиусом 0,4 мм и вытекал в атмосферу.

Измерения показали, что профиль усредненной по времени скорости имеет перегиб вблизи стенки, а это говорит о неустойчивости такого течения даже по отношению к одномерным возмущениям. На стенке канала обнаружено

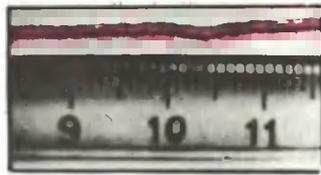
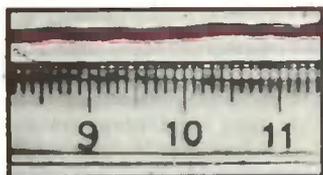


При нагревании жидкости в горизонтальном цилиндре возникают возвратные течения жидкости, расположенные рядом с восходящим потоком, а в центральной области наблюдается застойная зона, где жидкость перемещается слабо. Профили скоростей  $U_y$  сняты по диаметру цилиндра при коэффициенте заполнения 90% и тепловом потоке  $Q=2560$  Вт/м<sup>2</sup> после 10-минутного прогрева теплового элемента, расположенного по всей поверхности цилиндра.

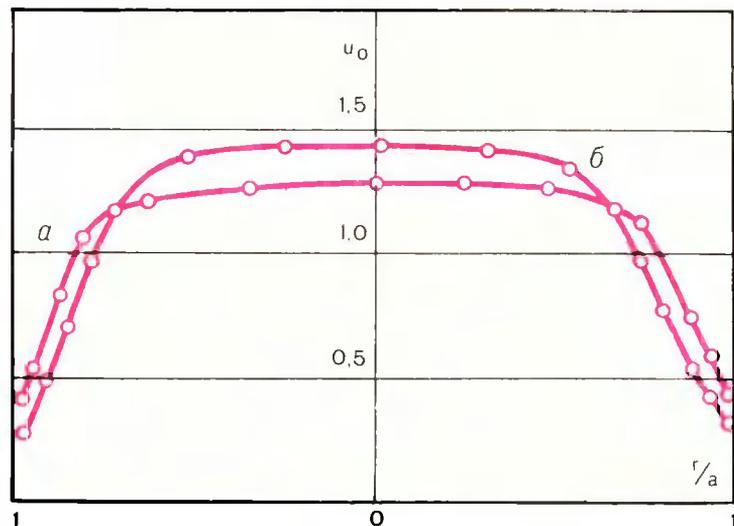
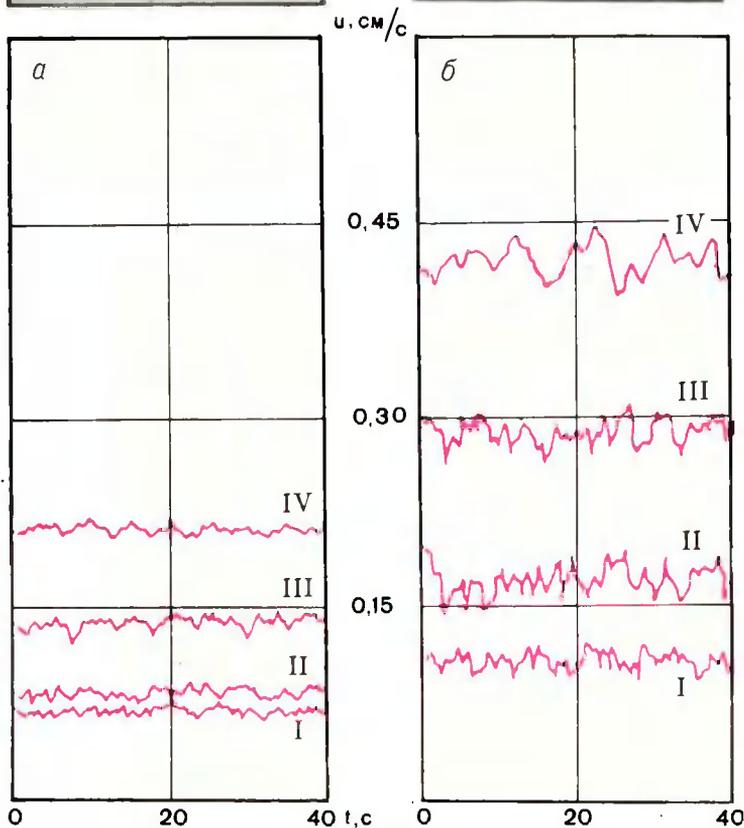
скольжение полиизобутилена (для ньютоновских жидкостей скорость на стенке всегда равна нулю).

**Турбулентные течения.** Одной из важнейших современных научно-технических задач является изучение основных закономерностей турбулентных

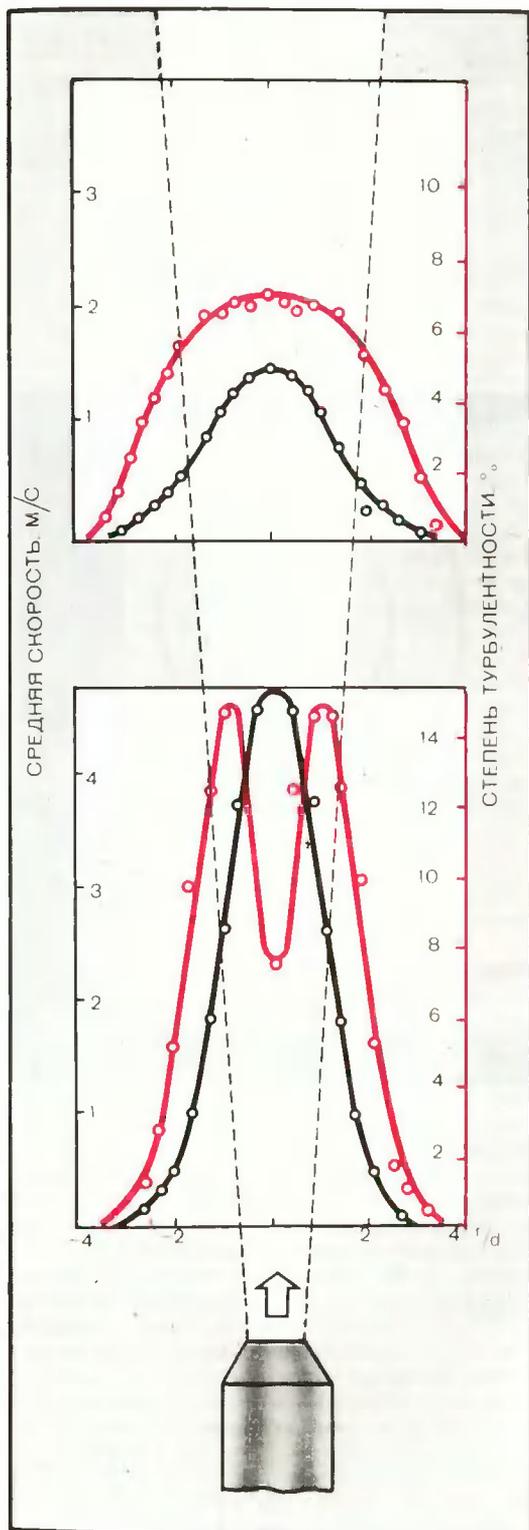
<sup>5</sup> Пасхин Е. Д., Ринкевичюс Б. С.— «Механика полимеров», 1976, № 4.



Вытекание полимера через тонкий капилляр радиусом 0,4 мм при давлении около 400 атм [а] и 600 атм [б]. Вверху приведены фотографии струй и масштабная линейка. На поверхности вытекающего полимера видны возмущения типа перетяжек. Частота возмущений соответствует частоте пульсаций скорости в центральной части канала. Кривые I—IV определяют мгновенные значения скорости для различных расстояний от оси капилляра. Внизу показаны профили усредненной скорости для режимов [а] и [б].



Кривые распределения скорости и степени турбулентности в струе воды, вытекающей из сопла диаметром 3 мм с начальной скоростью 5 м/с в неподвижную воду на разных расстояниях от среза сопла: 15 мм [внизу] и 60 мм [вверху].



течений — наиболее распространенного и наименее изученного вида движения жидкости и газа. Характерная особенность турбулентных течений — энергичное перемешивание отдельных слоев жидкости, в результате чего скорость в каждой точке потока пульсирует во времени хаотическим образом. Проблема состоит в определении статистических закономерностей случайного процесса флуктуации скорости. Важным параметром такого процесса служит степень турбулентности или отношение среднеквадратичного значения пульсационной составляющей скорости к ее среднему значению.

В настоящее время лазерным доплеровским методом исследуются потоки, как со 100%-ной, так и с очень низкой степенью турбулентности, составляющей доли процента<sup>6</sup>. Этот же метод позволяет исследовать и пространственную структуру турбулентности, например, измерить коэффициенты корреляции пульсаций скорости в двух точках потока, а также другие параметры, представляющие огромный интерес для построения гидродинамических теорий турбулентности<sup>7</sup>.

**Аэродинамика сверхзвуковых скоростей.** В экспериментальной аэродинамике сверхзвуковых скоростей одной из основных проблем является исследование картины течения при сложном пространственном обтекании тел различной формы. Широко используемые в настоящее время методы измерения и визуализации течения (например, термоиндикаторы и точки размываемой краски) позволяют получать качественную картину течения на поверхности тел. В то же время известные методы визуализации течения в газе (теневого, интерферометрического) позволяют в лучшем случае определить форму ударных волн, форму и размеры различных областей течений.

Измерение же полей скорости зондовыми методами в ряде случаев невозможно из-за искажения зондом картины течения. Примером такой задачи является обтекание сверхзвуковым газовым потоком модели, представляющей

<sup>6</sup> Ринкевичюс Б. С., Смирнов В. И. — «Теплофизика высоких температур», 1975, т. 13, вып. 3.

<sup>7</sup> Ринкевичюс Б. С., Смирнов В. И., Фабрикант В. А. — «Оптика и спектроскопия», 1976, т. 40, вып. 5.

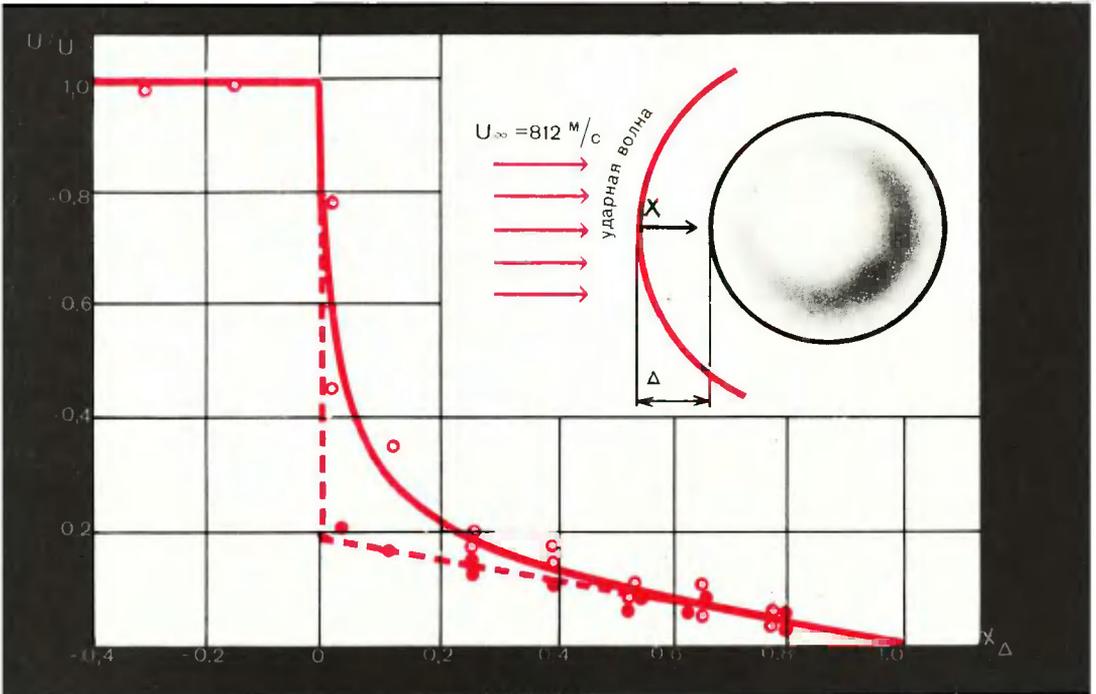
собой полусферу, перед которой образуется ударная волна<sup>8</sup>.

Данные о скорости газа в области между ударной волной и поверхностью сферы могут быть получены только с помощью бесконтактных измерений. Результаты эксперимента показали, что в зоне невозмущенного потока (до ударной волны) скорость постоянная. Затем имеется резкий спад скорости и ее плавное уменьшение по мере приближения к поверхности сферы. Теоретический же расчет да-

не больших градиентов скорости они не успевают следить за изменениями скорости газа.

Если размер светорассеивающих частиц известен, то можно ввести поправку и получить истинный профиль скорости газа в области за ударной волной. Скорость газа  $u_T$  можно найти, согласно методике Г. Л. Гродзовского, по

формуле 
$$u_T = u_{ч} \left( 1 + \tau \frac{du_{ч}}{dx} \right),$$
 где



При обтекании сверхзвуковым потоком сферы возникает ударная волна. Скорость газа за ударной волной меняется скачком (пунктирная линия), а скорость частиц меняется плавно (сплошная линия). Если ввести поправку, то по скорости частиц можно найти скорость газа (сплошные точки).

ет скачкообразное изменение скорости за ударной волной.

Отличие в ходе экспериментально полученной и теоретически рассчитанной зависимостей объясняется тем, что светорассеивающие частицы, имеющиеся в потоке, обладают инерцией. Поэтому в зо-

$u_{ч}$  — скорость частиц,  $\frac{du_{ч}}{dx}$  — градиент скорости по координате  $x$ ,  $\tau$  — характерное время, определяемое размером, плотностью частиц и законом их сопротивления в рассматриваемых условиях. Величина  $\tau$  находится либо по теоретическим расчетам, либо экспериментально. В приведенных условиях было получено значение  $\tau = 1,7 \cdot 10^{-6}$  с. Такой учет инерции частиц в экспериментальной зависимости дает значение скорости газа за ударной волной, согласующееся с теоретическим.

**Другие применения.** Кроме рас-

<sup>8</sup> Ринкевичюс Б. С., Толкачев А. В., Харченко В. Н. — «Механика жидкости и газа», 1974, № 4.

<sup>9</sup> Гродзовский Г. Л. — «Ученые записки ЦАГИ», 1974, т. 5, № 2.

смотренных выше областей применения ЛДА имеется еще целый ряд не менее важных направлений их использования. Как уже отмечалось ранее, по эффекту Доплера можно измерять очень малые скорости, начиная от долей микрометра в секунду. Именно с такой скоростью растут растения, движутся ледники, малые частицы за счет броуновского движения, поверхность испаряющейся при комнатной температуре капли жидкости, расширяется металл при нагревании, поднимается жидкость за счет перепада температур в  $0,001^{\circ}\text{C}$  и т. д. Следовательно, все эти виды движений могут быть исследованы с помощью ЛДА. Лазерные доплеровские микроскопы имеют высокую локальность измерений и пригодны для исследования таких потоков, как движение крови в кровеносных сосудах, пограничных слоев на расстоянии нескольких микрометров от стенки и других мелкомасштабных потоков. Очень плодотворным оказалось применение методов лазерной доплеровской анемометрии в биологии и медицине. Определяя спектр света, рассеянного на вирусах, клетках и т. п., можно найти коэффициент диффузии, по которому вычисляются размеры микрообъектов. Достоинство этого метода по сравнению с микрофотографическим состоит в простоте статистического усреднения по большому ансамблю частиц.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТОДА

Приведенные рассуждения показывают, что доплеровский метод исследования потоков обладает следующими достоинствами:

1. Практическое отсутствие возмущений. Используются лазерные пучки малой мощности, которые почти не нагревают исследуемый поток. Вводится ничтожное количество частиц, размеры которых малы, так что они практически также не вносят возмущений.

2. Скорость частиц связана с частотой световой волны линейно, следовательно, не нужно вводить различного рода корректирующие цепи в регистрирующую аппаратуру.

3. Диапазон измеряемых скоростей весьма широк, что обусловлено большой частотой световых волн. Так, при  $u=3$  мкм/с сдвиг частоты составляет 5 Гц, а при  $u=30$  км/с сдвиг будет 50 ГГц. Измерение таких частотных сдвигов не вызывает затруднений.

4. Локальность измерений, обусловленная малыми размерами лазерных пучков, которые можно легко сфокусировать в пятно диаметром не более 10 мкм.

5. Большое быстродействие измерений — скорость частицы определяется за время ее движения через лазерный пучок. Так, при размере пучка 0,1 мм и  $u=1$  мм/с время измерения составляет 0,1 с, а при  $u=10$  м/с — всего  $10^{-7}$  с. Это открывает возможности исследований нестационарных явлений в аэро- и гидродинамике.

6. С помощью электронной аппаратуры легко производится статистическое усреднение по большому числу частиц.

7. Практически неограниченный температурный диапазон (от криогенных жидкостей до высокотемпературного пламени).

8. Возможность автоматизации измерений на основе использования ЭВМ.

Здесь была рассмотрена проблема измерения скорости движения с помощью лазеров в упрощенном виде. В действительности имеется комплекс проблем, связанных с необходимостью определения целого ряда параметров, характеризующих движение твердого тела или потока жидкости и газа по измеренным параметрам отраженной или рассеянной волны. Теоретической основой решения этих проблем является лазерная спектроскопия грубого рассеяния.

Широкому и быстрому внедрению перспективного метода лазерной доплеровской анемометрии будет способствовать освоение нашей промышленностью серийного выпуска приборов.

Можно надеяться, что распространение этого метода позволит решить многие задачи по повышению качества и эффективности научных исследований.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ЛАЗЕРНЫЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ. Новосибирск, 1975.

Ринкевичюс Б. С. ЛАЗЕРНАЯ АНЕМОМЕТРИЯ. М., 1978.

Durst F., Melling A., Whitelaw J. PRINCIPLES AND PRACTICAL OF LASER-DOPPLER ANEMOMETRY. Academic Press. L. — N. Y. — San Francisco, 1976.

## Родоначальник социального исследования науки

**П. Б. Шелищ,**  
кандидат философских наук

Институт социально-экономических проблем АН СССР  
Ленинград

«Наука продвигается вперед шаг за шагом, и труд любого человека зависит от труда его предшественников. Если до вас дошел слух о внезапном, неожиданном открытии, как говорится, гром среди ясного неба, можете быть уверены, что оно созрело в результате влияния одних людей на других, и именно это взаимное влияние открывает необычайные возможности прогресса науки. Успех ученых зависит не от идей отдельного человека, а от объединенной мудрости многих тысяч людей, размышляющих над одной и той же проблемой, и каждый вносит свою небольшую лепту в великое здание знания, которое постепенно воздвигается»<sup>1</sup>.

Эти слова принадлежат великому физики Э. Резерфорду, одному из тех ученых, чьи открытия создали непосредственную основу современной научно-технической революции. Ни в 1936 г., когда они были произнесены, ни тем более сегодня сама мысль не вызывает удивления или недоумения и способна поразить нас, пожалуй, только отчетливостью и образностью формулировки. Можно было бы привести немало подобных высказываний, принадлежащих выдающимся ученым XX столетия. Бурное развитие науки сделало эту идею очевидной уже не только для отдельных ее представителей, но и для широких масс научных работников, для научной общественности. В общественных представлениях о науке, ее сущности и характере развития в последние десятилетия произошел сдвиг. Столетиями понимаемая и изучаемая как система знаний, наука все быстрее стала разворачиваться перед обществом другой своей стороной — как система деятельности многих людей и поколений по производству зна-

ний. Все больший удельный вес среди исследований науки занимают теперь социологические, организационные и экономические проблемы ее развития.

Даже если говорить не о происшедшем и необратимом уже сдвиге в ориентациях исследователей науки, а о тенденции, возникает вполне законный вопрос: является ли она чем-то совершенно новым в развитии научной мысли? Может быть, массовая деятельность людей по производству научного знания уже становилась предметом специального анализа или хотя бы достаточно отчетливо понималась в противовес господствовавшей идеологии научного изоляционизма, корни которой содержатся в теории познания Платона как «вспоминания» врожденных идей, и пышно расцветшей в образе божественного откровения истины человеку в эпоху феодализма?

Уже беглый взгляд в историю позволяет увидеть, что борьба материализма и идеализма по вопросу о природе и методах познания требовала от материалистов внимательного анализа общественно-исторических предпосылок и условий развития науки. Некоторые взгляды, оценки и идеи ученых прошлого намного опередили свое время, когда наука, по существу, была еще в зародыше, и в то же время, они весьма актуально звучат сейчас, в эпоху «большой науки».

Особое место среди них занимает наследие Фрэнсиса Бэкона (1561—1626). Яркой жизни и многообразному творчеству Бэкона посвящено немало специальных исследований. За многие десятилетия сложилась и прочно укоренилась традиция рассматривать его прежде всего как воинствующего материалиста, борца против схоластики, методолога науки. Однако современное социологическое видение науки заставляет наряду с этим признать в Бэcone родоначальника ее социального исследования.

<sup>1</sup> Резерфорд Э. Сорок лет развития физики. В кн.: Резерфорд — ученый и учитель (к 100-летию со дня рождения). М., 1973, с. 17.

Отдельные весьма глубокие мысли о социальных предпосылках науки, о массовой, исторически преемственной деятельности людей как источнике ее развития встречаются уже у Аристотеля. В его трудах нетрудно даже увидеть, пусть в зародыше, и идею научного прогресса, возникновение которой приписывают обычно Новому времени.

Эти идеи впоследствии были забыты и не столько потому, что Аристотель не оставил систематического и развернутого их изложения, сколько в силу их полнейшей несозвучности всей схоластической науке.

Успехи естествознания эпохи Возрождения создали новую объективную основу для зарождения социально ориентированного исследования науки, а необходимость и неизбежность борьбы со схоластикой стимулировала этот процесс. Родоначальником такого исследования и стал Бэкон.

Суть социально-исторического подхода Бэкона ярко проявляется в его анализе причин неудовлетворительного состояния современной ему науки. Разбирая специально этот вопрос в «Новом Органоне», Бэкон, во-первых, указывает на то, что «из двадцати пяти столетий, которые обнимает наука и память людей, едва ли можно выбрать и отделить шесть столетий, которые были бы плодотворны для наук или полезны для их развития... По справедливости можно насчитать только три периода наук: один — у греков, другой — у римлян, третий — у нас, т. е. у западных народов Европы, и каждому из них можно уделить не более двух столетий». Итак, «первая причина такого ничтожного преуспевания наук по всей справедливости должна быть отнесена к ограниченности времени, которое благоприятствовало им»<sup>2</sup>.

Следующий фактор, который Бэкон характеризует как причину «величайшего значения», состоит в том, что «на протяжении тех самых времен, когда человеческий разум и научные занятия процветали в наиболее высокой степени или хотя бы посредственно, естественной философии уделялась самая малая доля человеческих трудов»<sup>3</sup>.

Не ограничиваясь констатацией этого принципиального факта, Бэкон дает ему

рациональное историческое объяснение, связывающее интеллектуальные интересы людей с господствующими формами общественного сознания их эпохи: в эпоху господства религии и церкви «преобладающая часть лучших умов посвящала себя теологии. Этому были отданы высшие награды; этому были в изобилии предоставлены средства вспоможествования всякого рода»<sup>4</sup>. Подобным же образом у римлян и греков «лучшие мысли и усилия философов» были отданы моральной философии и политике.

Уже у Аристотеля мы находим указание на то, что возникновение наук связано с появлением людей, располагающих досугом для научных занятий<sup>5</sup>. Это условие вполне очевидно и для Бэкона. Развивая свой тезис о прямой связи успехов наук с количеством человеческого труда, вкладываемого в познание природы, он пишет: «Даже в числе тех, кто занимался естественной философией, она едва ли имела хотя бы одного вполне свободного и полностью отдавшегося ей человека (особенно в недавние времена); разве только нам укажут на пример какого-нибудь монаха, размышляющего в своей келье, или родовитого человека в своем поместье»<sup>6</sup>.

Таким образом, для Бэкона наука, под которой он понимает приобретенное знание, есть исторический продукт человеческой деятельности, и первый важнейший фактор ее развития — благоприятные общественно-исторические условия, определяющие объем человеческого труда в сфере познания. И именно этот принципиальный пункт идейного наследия Бэкона на протяжении следующих двух столетий, по существу, игнорировался многими выдающимися философскими умами.

Другие важнейшие факторы развития науки, отсутствовавшие в ее прежней истории, указывает далее Бэкон, — это верно определенная цель наук («наделение человеческой жизни новыми открытиями и благами») и правильный метод познания, разработке которого посвящена значительная часть его усилий. Важное значение придает он также нравам и обычаям специфических институтов науки — «школ, академий, коллегий и тому подобных собраний, которые предназначены для пребывания в них ученых людей и для служения учености»; и в которых в его

<sup>2</sup> Бэкон Ф. Новый Органон. М., 1938, с. 63.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Там же, с. 60.

<sup>5</sup> Аристотель. Соч., т. I. М., 1975, с. 67.

<sup>6</sup> Бэкон Ф. Новый Органон, с. 64.



Фронтиспис «Истории Лондонского королевского общества» Т. Спрата. Справа изображен Ф. Бэкон.

время «все оказывается противным движению наук вперед»<sup>7</sup>.

Пафос Бэкона направлен не только на критику всей предшествующей науки и анализ причин отсутствия прогресса в ее развитии. Критика прошлого и настоящего — это лишь одна, необходимая, но не являющаяся самоцелью сторона его реформаторской идеологии. Об этом говорят даже сами названия его важнейших произведений: «Великое восстановление наук», «О достоинстве и приумножении наук». В последнем он прямо определяет необходимые, по его мнению, условия развития науки: «достойное вознаграждение» как стимул научных начинаний; «разумные и обдуманые планы» как руководство, ведущее исследователя к намеченной цели; «объединение усилий» как средство возместить недостаток сил отдельного человека в общем движении к истинному знанию<sup>8</sup>.

Определив эти условия, Бэкон сразу же переходит к практическим задачам управления наукой. «Деятельность же и усилия, способствующие развитию науки, касаются трех объектов: научных учреждений, книг и самих ученых... Драгоценнейшая влага знания... очень скоро погибла бы и исчезла, если бы ее не сохраняли в книгах, преподавании, беседах и, главным образом, в определенных местах, предназначенных для этого — в академиях, коллегиях, школах, где науки получают как бы постоянное местожительство и сверх того возможности для своего роста и укрепления»<sup>9</sup>.

Далее Бэкон указывает, в чем конкретно должна заключаться эта деятельность, способствующая развитию науки. В отношении научных учреждений — строительство зданий, выделение денежных средств, предоставление привилегий, утверждение уставов и положений. «Все это должно прежде всего содействовать достижению необходимого покоя и освободить ученых от посторонних забот и неприятностей». В отношении книг — основание библиотек, новые издания авторов. И, наконец, в отношении самих ученых, «не говоря уже о возвышении и продвижении их, нужно указать на следующие две задачи: а) вознаграждение и поощрение преподавателей дисциплин уже известных и открытых; б) вознаграждение и поощрение исследователей в тех областях науки, которые до сих пор остаются еще недостаточно разработаны и исследованы»<sup>10</sup>.

Не ограничиваясь этими общими соображениями, Бэкон специально рассматривает практические вопросы подготовки ученых, проблемы высшего образования своего времени. Он критикует деятельность всех современных ему колледжей и научных обществ за догматический характер обучения и норм научной деятельности, требующих полного подчинения канонизированным авторитетам и подавляющих творческие устремления, за профессиональную ограниченность, неспособность подняться до изучения общих законов; указывает на особую роль преподавателей, труд которых должен обеспечить развитие науки; требует выбирать преподавателей как общих, так и специальных дисциплин из самых лучших специалистов в своей области,

<sup>7</sup> Там же, с. 74.

<sup>8</sup> Бэкон Ф. Соч., т. I. М., 1971, с. 147.

<sup>9</sup> Там же, с. 147.

<sup>10</sup> Там же, с. 148.

обеспечивая им «такое вознаграждение и такие условия, которыми может быть удовлетворен любой... специалист, так что ему будет нетрудно постоянно заниматься преподаванием и незачем будет думать о практической деятельности». Он указывает, что «едва ли возможен значительный прогресс в раскрытии глубоких тайн природы, если не будут предоставлены достаточные средства на эксперименты». Он призывает к международному научному сотрудничеству: «Ведь если успешное развитие науки в немалой степени зависит от разумной организации отдельных университетов и правильного управления, то еще больших результатов можно было бы добиться, если бы все университеты, рассеянные по Европе, установили между собой более тесную связь и сотрудничество». Он уверен в неизбежности того, что благодаря наукам и просвещению возникнет «благородное братство среди людей»<sup>11</sup>.

Каким резким контрастом современной Бэкону эпохе и кругу вопросов, волновавших его современников и предшественников, кажется этот широкий спектр практических проблем реального развития науки (отнюдь не исчерпывающийся только вышеперечисленными), которые впервые ставит и разрабатывает Бэкон. И, в то же время, сколь созвучен он нашему времени, развитию науки в условиях научно-технической революции. Думается, весьма метко отразило эту созвучность название одной из книг о Бэконе: «Фрэнсис Бэкон — философ индустриальной науки»<sup>12</sup>.

Мы имеем достаточные основания считать Бэкона основоположником социологического изучения науки. Связь науки с человеческой практикой, место и роль науки в обществе, задачи и способы государственной организации науки и образования — весь этот круг вопросов широко исследуется современной социологией науки, и идеи Бэкона, даже став в большей своей части очевидными и привычными для прогрессивной социологии XX в., отнюдь не утратили своего значения. Социологическое наследие Бэкона не ограничивается этим. Он явился пионером и в исследовании «микроуровня» науки — ее внутренней структуры и организации. В своей утопии «Новая Атлантида»

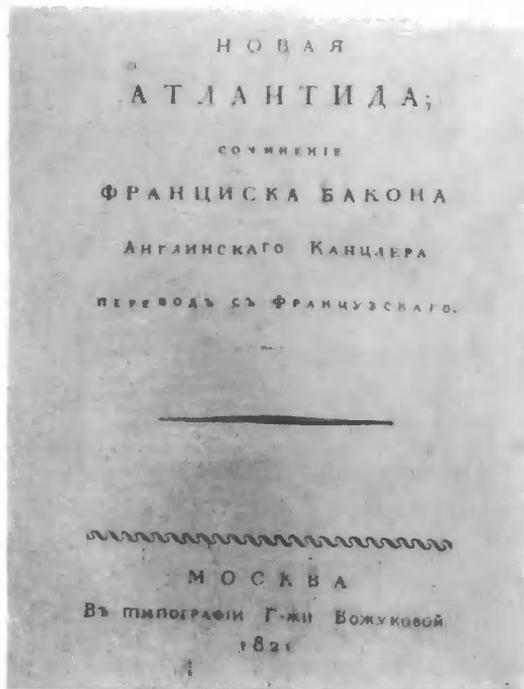


Амстердамское издание «*Syva Sylvarum*» и «*Новый Атлантиды*» Ф. Бэкона.

он описывает некое всесильное и идеально организованное научное учреждение («Дом Соломона»), в котором существует весьма развитое функциональное разделение научного труда, совершенно неизвестное науке XVI—XVII вв., но весьма близкое к современному. Пользуясь современной терминологией, легко выделить в «Доме Соломона» ученых — информаторов, экспериментаторов, координаторов, «прикладников» (они должны «вникать в опыты своих сочленов и извлекать из них и запоминать те изобретения, которые могут быть полезны в практической жизни»), организаторов (которые «на основании уже установленных научных фактов намечают план и направление новых опытов») и теоретиков (по Бэкону, «истолкователей при-

<sup>11</sup> Там же, с. 117, 149—153.

<sup>12</sup> Farrington B. Francis Bacon Philosopher of Industrial Science. N. Y., 1949.



Русское издание «Новой Атлантиды».

роды», которые из наблюдений и опытов выводят общие законы и причины). Внутренняя жизнь этого научного учреждения построена на демократической основе, тщательное обсуждение всех научных работ и открытий здесь не только допускается, но и является необходимым условием. Здесь ведется подготовка молодых ученых, «дабы не прерывалась преемственность ученых».

В другой работе он выделяет мотивы, руководящие деятельностью ученых, и сопоставляет их с объективными историческими потребностями науки, рассматривает вопрос об оценке научных вкладов, о необходимости публичного поощрения выдающихся научных достижений, о престиже ученого в обществе и т. д.<sup>13</sup>

Дж. Бернал совершенно справедливо отмечал, что хотя Бэкон, в отличие от Декарта, не выдвинул никакой собственной системы мира, он предположил создать организацию, которая действовала бы как

коллективный строитель новых систем<sup>14</sup>. Его идеи были широко известны и популярны среди ученых XVII в., они стали основой идеологии новой, действенной и организованной науки, тесно связанной с практикой, реальное начало которой было положено созданием и деятельностью Лондонского Королевского общества<sup>15</sup>.

Многие социологические проблемы организации и развития науки, поставленные Бэконом, значительно опередили свое время, главной задачей которого (в области научного прогресса) была борьба с принципами, целями и методом схоластической науки. Но в том-то и кроется, на наш взгляд, объяснение этой части его творчества, что сформулированная им социальная функция науки и сконструированный индуктивно-эмпирический метод с неизбежной логикой приводит к картине массовой, коллективной и организованной науки, успехи которой в обогащении общества «новыми знаниями и новым могуществом» зависят скорее от количества вложенного в познание человеческого труда, от степени его организации и общественного поощрения, нежели от выдающихся творческих личностей. Утверждая примат природы над человеческим разумом, Бэкон видит единственно возможный путь познания в постепенном и последовательном процессе индукции, основанной на принципе — задавать вопросы природе путем эксперимента, который он доводит до высокой степени алгоритмизации.

В этом коренное отличие его метода от метода Декарта, основанного на примате разума, способного непосредственно, через интуицию «очевидного», «достоверного», «отчетливого и ясного» (по терминологии Декарта) логически вывести истину путем дедукции. Декарт также признает необходимость эксперимента и замечает, что опыты «тем более необходимы, чем далее мы продвигаемся в познании»<sup>16</sup>. В силу этой неизбежности он даже призывает ученых к тому, «чтобы последующие начинали там, где окончат их предшественники, и так, соединяя жизни и труды многих, мы все вместе смогли бы пойти гораздо дальше, чем это мог бы сделать

<sup>13</sup> Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956, с. 241.

<sup>14</sup> Копелевич Ю. Х. Возникновение научных академий. Л., 1974, с. 15—19.

<sup>16</sup> Декарт Р. Избр. произв. М., 1950, с. 306.

<sup>13</sup> Бэкон Ф. Соч., т. I. М., 1971, с. 116, 117, 121, 154.

каждый в отдельности»<sup>17</sup>. Однако опыт для Декарта — не стержень всего его метода, а лишь вспомогательное орудие для выбора способа, которым следует выводить (дедуктивно) то или иное частное следствие из общих принципов — чистых продуктов деятельности свободного для сомнения разума. Более того, когда он говорит о необходимости постановки опытов, в его словах скользит явная досада на это неизбежное препятствие на пути его сознания к полному и, как он считает, весьма близкому овладению истиной. Что же касается возможности коллективной научной работы, то он видит в ней лишь зло, которое только отвлекло бы его от решения собственных задач. Вот как говорит об этом сам Декарт: «Если есть на свете какой-либо труд, который не мог бы быть закончен никем другим кроме того, кто его начал, то это труд, над которым работаю я<sup>18</sup>. Правда, что касается опытов, которые могут служить для этого, то одного человека недостаточно, чтобы все их произвести; вместе с тем, он не мог бы применить здесь с пользой чужие руки, разве только руки ремесленников или людей, которым он мог бы платить и которых надежда на заработок — средство очень действительное — заставила бы выполнять в точности все, что он им предписывал бы»<sup>19</sup>.

И далее, явно вступая в противоречие с цитированной выше декларацией о значении преемственности исследований: «Если бы оказался на свете человек, про которого с уверенностью знали бы, что он способен на величайшие и полезнейшие для общества открытия, и если бы по этой причине другие люди старались всеми средствами помочь осуществлению его замыслов, не думая, чтобы они могли сделать для него что-либо, разве только доставить ему средство для производства необходимых опытов и не позволять никому нарушать его досуг»<sup>20</sup>.

Итак, если мы видим в идеале науки Бэкона рационально организованную республику многих ученых, то идеал Декарта — это, по существу, империя одного познающего субъекта (что, впрочем, не мешало Декарту разделять представления



Иллюстрация Ю. Селиверстова к «Новой Атлантиде» [Утопический роман XVI—XVII вв., М., 1971].

Бэкона — ставшие уже представлениями всех передовых людей эпохи — о социальной функции науки и неизбежности научного прогресса).

Дальнейшая история познания разделила две неразрывные стороны философского наследия Бэкона: учение о методе и учение о социальных факторах и государственной организации научного прогресса. Первое, резко противопоставляемое учению Декарта, стало впоследствии объектом длительной и временами весьма ожесточенной борьбы между ньютоновцами и картезианцами в физике, между эмпиризмом и рационализмом. Второе же, явно и вполне закономерно «потерявшись» в господствовавших идеалистических философских системах XVII—XIX вв., оказало значительное влияние на формирование социального самосознания ученых XVII в., на всю социально-организационную идеологию последующего этапа развития естествознания. К. Маркс высоко оценил роль Бэкона как в философии, так и в естествознании, назвав его настоящим родоначальником английского материализма и всей современной экспериментирующей науки<sup>21</sup>.

<sup>17</sup> Там же.

<sup>18</sup> Декарт говорит здесь отнюдь не о разработке своего метода, а об исследовании основополагающих принципов построения научной картины мира.

<sup>19</sup> Декарт Р. Избр. произв., с. 312—313.

<sup>20</sup> Там же, с. 313.

<sup>21</sup> См. Маркс К. и Энгельс Ф. Соч. т. 2, с. 142.



## Этология

## Некоторые особенности поведения трехиглой колюшки в период размножения

В. Е. Гомелюк

Рига

Одним из своеобразнейших элементов поведения самцов трехиглой колюшки в период размножения являются движения «копания песка», наблюдающиеся в территориальных конфликтах: «... самец-колюшка демонстрирует угрожающее поведение: принимает вертикальное положение головой вниз, повернувшись к противнику боком и оттопырив брюшной плавник на этом боку. При большом возбуждении рыба дергается, словно собираясь воткнуть голову в песок...»<sup>1</sup>.

Заметность и эффективность этих движений ошеломили, вероятно, не только противников самца трехиглой колюшки, но и биологов, которые безоговорочно стали приписывать поведению самца колюшки функцию «запугивания», «угрозы», «предупреждения» и пр.

Наблюдения автора за поведением трехиглой колюшки в период размножения дали результаты, расходившиеся с трактовкой, предложенной Н. Тинбергеном. Самец трехиглой колюшки — слишком агрессивное существо, чтобы при обнаружении нарушителя террито-

рии ограничиться одними «угрозами». Одиночный пришелец сразу подвергается каскаде атак, его кусают, треплют, толкают. Иногда атакованная особь не остается в долгу и возникает настоящая драка, во время которой рыбы обмениваются быстрыми укусами. В большинстве случаев (хотя и не всегда) в ней побеждает хозяин участка, а пришелец поспешно ретируется. На границе своей территории хозяин, преследовавший до того противника, принимает позу, описанную Н. Тинбергеном, хотя клевание отмечается в этой ситуации редко, рыба подчас даже не касается дна. Предполагаемая «угроза» может являться просто выражением эмоционального состояния животного в данной ситуации.

О том, какую осторожность следует соблюдать, приписывая тем или иным элементам поведения животных определенную смысловую нагрузку, свидетельствует разбор «смысла» позы «копания песка» самцов трехиглой колюшки. Эти движения обретают совершенно иной функциональный смысл при столкновении самцов, охраняющих икру в гнездах, со стаями самок своего вида. Известно (как ни парадоксален этот факт), что наибольшую опасность для икры представляют именно самки<sup>2</sup>. Нам пришлось наблюдать, как стая самок, иногда насчитывающие до полусотни особей, при перемещении по нерестилищу окружали самца с гнездом, разрывали гнездо и поедали находящуюся в нем икру. Это происходило в тех случаях, когда агрессивно наст-

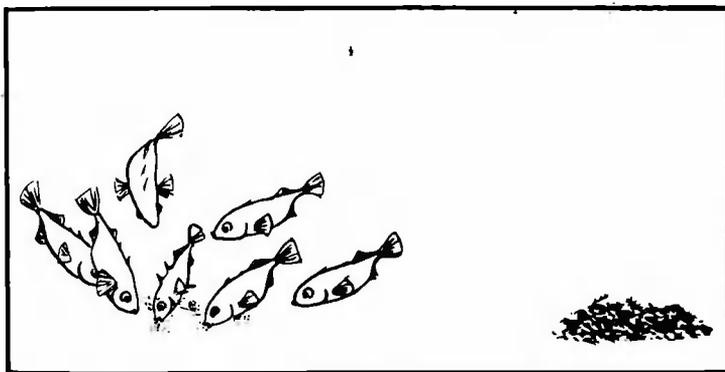
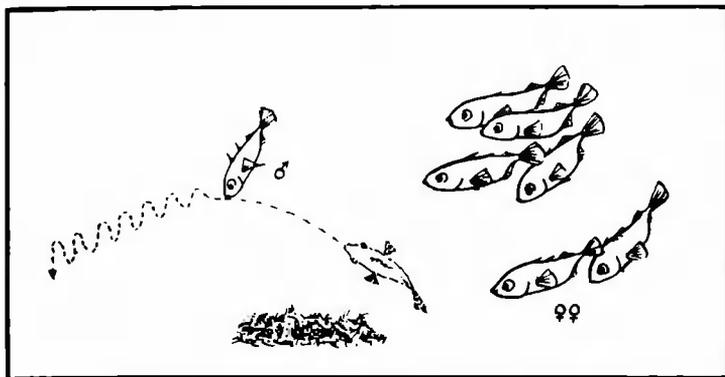
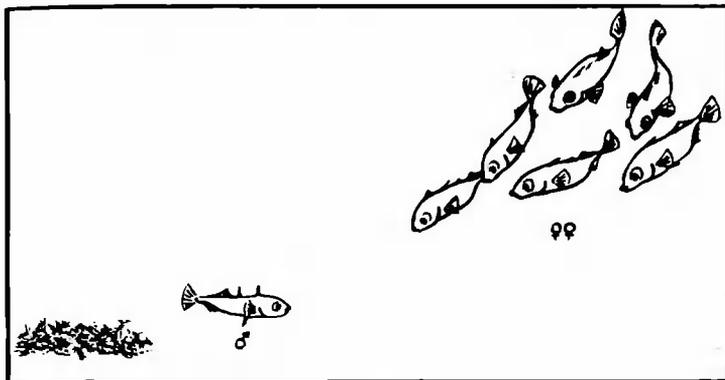
роенный самец увлекался преследованием отдельных членов стаи, позволяя остальным вплотную приблизиться к гнезду. После этого отстоять гнездо рыба уже не могла. Лишь иногда самцу удавалось унести небольшую часть кладки...

Однако результаты нападения чаще всего не были столь плачевны. При приближении стаи самец, не проявляя видимой агрессивности, поднимался в верхние слои воды и, заняв положение головой вниз, опускался ко дну по наклонной линии, двигаясь прочь от гнезда. При этом рыба характерно дергалась вверх — вниз всем телом. Отплыв от гнезда на расстояние порядка полуметра, самец начинал «копать грунт», захватывая его ртом и выплевывая. Часть грунта вышускалась через жаберные щели, создавая в воде заметное облачко. Стая немедленно окружала «копающего» самца и так же принималась рыться в грунте. Движения самок были схожими, однако самец демонстрировал «подчеркнутое» копанье. Спустя некоторое время самец возвращался к гнезду, но иногда был вынужден повторить свои действия до 3—5 раз. Самое любопытное заключалось в том, что корма в окрестностях гнезда давно уже не было — весь он был съеден самцом в период строительства гнезда. Естественно, самки, не обнаружившие корма, удалялись в более богатые кормом места, оставляя гнездо в покое.

В том, что описанные действия самца были полностью гомологичны добыванию пищи, сомневаться не приходится — это подтверждается хотя бы тем, что рыбе удалось «обмануть» и отвлечь от гнезда целую стаю. Так же ясно, что это было «подчеркнутое» пищевое поведение, а не нормальное добывание

Рисунки А. А. Рыбовского.  
<sup>1</sup> Тинберген Н. Мир серебряистой чайки. М., 1974.

<sup>2</sup> Абдель - Малек. О питании трехиглой колюшки Кандалакшского залива. — Вопросы ихтиологии, 1963, т. 3, № 2.



При приближении стаи самок самец, охраняющий гнездо, поднимается в верхние слои воды [вверх]; затем самец в положении головой вниз спускается ко дну [прочь от гнезда] по наклонной линии [в середине]; отлив от гнезда примерно на полметра, самец начинает «копать грунт», захватывая его ртом и выплевывая, а стая самок окружает копающего самца и принимает рыться в грунте [внизу].

корма — эти движения выполнялись рыбами на чистом стекле аквариумов и не были от этого менее эффективны. Ясно, что реакция стаи в данном случае объясняется так называемым аллеломиметическим подражанием, связанным со стимулированием врожденных, видотипичных действий, в данном случае — движений при выкапывании зарывшегося в грунт корма.

Можно согласиться, что в основе возникновения этих

движений при столкновении двух самцов лежат тенденции к нападению, с одной стороны, и страх — с другой. Однако опыты, проведенные нами в аквариумах, показали, что постепенное увеличение числа пришельцев вызывает все более частую смену укусов и толчков «копательными» движениями. Самец, однако, способен терроризировать до 10—12 помещенных в аквариум особей своего вида, доводя их до стрессового состояния и гибели, так что возможно (и более приемлемо) несколько иное объяснение природы возникновения «смещенного» поведения в случае с самками, основывающееся на неспецифическом влиянии сильного внешнего раздражения при превышении им некоторого порога. При этом происходит активирование тех форм поведения, которые наиболее часто наблюдаются в нормальных ситуациях.

Таким образом, факты, накопившиеся за последние годы, свидетельствуют, что многие, на первый взгляд, нелепые и явно неадаптивные формы поведения, проявляющиеся «вне контекста ситуации», на самом деле оказываются уместными и даже жизненно необходимыми.

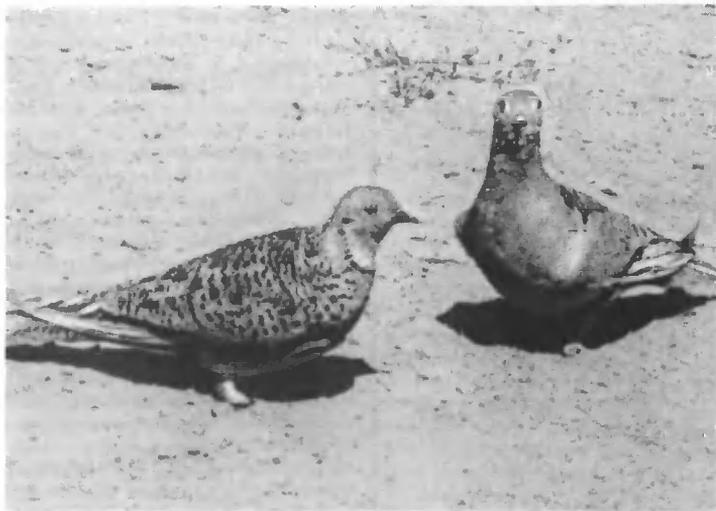
Орнитология

## Массовый залет саджи в Волго-Уральское междуречье

В. Л. Шевченко

Уральск

Саджа (*Syrhaptes paradoxus*) — птица подотряда рябков. Одной из интереснейших сторон биологии саджи является способность ее к массовым вылетам далеко за пределы области постоянного гнездования. Известно, что в некоторые годы птицы достигали Финляндии, Швеции, Норвегии, Англии, Ирландии,



Саджи.

Фото В. Родионова.

Франции и некоторых других стран Европы. Характерны также залеты саджи и в восточном направлении, когда они достигали Минусинских степей и даже Приморского края. При этом отмечались попытки и даже случаи кратковременного гнездования залетных особей. Однако причины этих массовых вылетов саджи пока не выяснены.

Залеты единичных птиц и небольших стаяк саджи в Волго-Уральское междуречье наблюдались довольно часто, что, по-видимому, связано с близостью района их постоянного гнездования (Урало-Эмбинское междуречье). Однако массовых залетов, аналогичных тому, что нам удалось наблюдать в 1976 г., за последние 30 лет никем не отмечалось.

Первую стайку в 20 птиц и две одиночные пары саджи, летящие на высоте 20—25 м в западном и северо-западном направлениях, видели на северной кромке Волго-Уральских песков 8 и 10 апреля. Однако массовым залет птиц стал в период с 13 по 18 апреля. Так, 13 апреля, по наблюдениям в урочище Айбас Махамбетского района Гурьевской области (Волго-Уральские пески),

за час в среднем в западном и северо-западном направлениях пролетало около 40 птиц, 14 апреля там же — около 50 птиц, 17 апреля у пос. Факеево Джангалинского района Уральской области — около 44 птиц. В течение всего дня птицы летали волнами: 35—45-минутные периоды интенсивного лета сменялись 10—20-минутными перерывами. В большинстве случаев саджи летали парочками и мелкими стайками в 6—17 птиц на высоте не более 20—45 м. Реже отмечались стайки, состоящие из 26—50 особей, и в одном случае — 68. Птицы летали как в ясную, тихую погоду, так и при сильном юго-восточном (попутном) ветре, поднявшим пыльную бурю. В полете саджа часто издавала характерные для нее скрежежуще-булькающие звуки. Во время пыльной бури, сильно ограничивающей видимость, голоса саджи слышались чаще, чем в ясную погоду.

Несмотря на то что в отдельных пунктах наблюдений птицы летели очень интенсивно, залет в целом происходил широким фронтом.

С 18 апреля, наряду с птицами, продолжавшими залет, начали встречаться парочки и стайки саджи, летящих в юго-восточном (обратном) направлении. В последующие дни число таких встреч несколько увеличилось. Однако

возвращение их не было столь интенсивным и массовым, как залет. Последнюю стаю около 150 птиц, на высоте 6—7 м пролетевшую на восток — северо-восток, видели на северной кромке Волго-Уральских песков 19 октября. Видимо, многие саджи не вернулись в область постоянного гнездования. Часть их погибла, о чем свидетельствовали находки остатков перьев птиц в песках в 25 км к югу от пос. Новая Казанка Джангалинского района Уральской области.

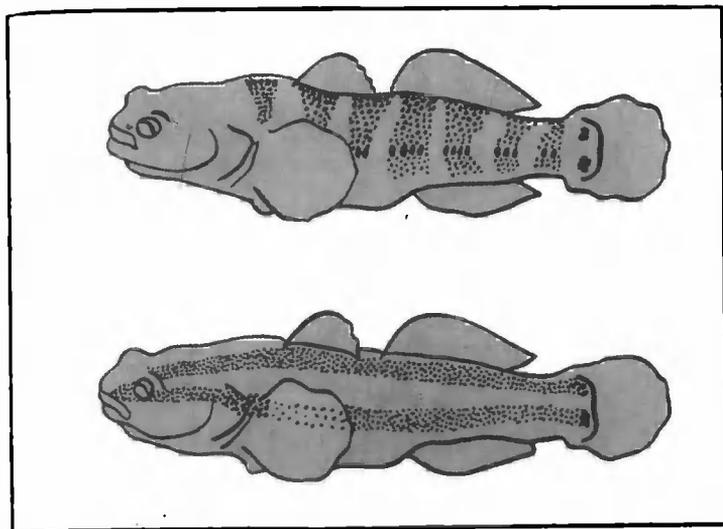
Одной из вероятных причин, побудивших саджу к массовой миграции, могла явиться необычайно жестокая засуха 1975 г., поразившая большую часть области гнездования этого вида. Крайнее угнетение травянистой растительности и низкий урожай семян, служащих основным кормом саджи, могли оказать решающее влияние на массовый вылет птиц за пределы гнездовой области.

#### Ихтиология

### Быстрое изменение окраски полосатого трехзубого бычка

В. И. Пинчук,  
кандидат биологических наук  
Херсон

Удивительно быстрые, происходящие в течение нескольких секунд изменения окраски известны у ряда видов морских рыб — в основном обитателей тропических рифов. Эти изменения являются обычно эмоциональным ответом, вызванным возбуждением или страхом, и в то же время адаптивны, т. е. способствуют маскировке. «Различные рыбы, которые попеременно бывают то продольно-полосатыми или одноцветными, то поперечно-полосатыми, имеют первый рисунок при движении (рисунок покровительственный, т. е. он маскирует движение впе-



Полосатый трехзубый бычок: в спокойном состоянии на дне морского залива (вверху) и в возбужденном состоянии, например в сачке (внизу).

ред), а второй — при отдыхе (когда полосы расчлениют контур и скрадывают форму на пятнистом фоне)<sup>1</sup>. В водах, омывающих СССР, подобная быстрая смена поперечно-полосатого рисунка на продольно-полосатый впервые обнаружена автором в 1973 г. у одного из массовых видов бычков семейства Gobiidae Амурского залива.

Полосатый трехзубый бычок (*Tridentiger trigoperphalus*) обитает в Японском море и смежных водах<sup>2</sup>. Формой головы и движениями в воде этот своеобразный бычок напоминает мелких липарисов. Трехзубый бычок известен в двух вариациях: продольно-полосатой и лишенной полос.

<sup>1</sup> Котт Х. Приспособительная окраска животных. М., 1950, с. 39—40.

<sup>2</sup> Линдберг Г. У. и Красюкова З. В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Ч. 4. Л., 1975.

У особи с первым вариантом окраски на очень светлом, сероватом фоне спины и боков четыре темные продольные полосы, очень резкие, по две с каждой стороны. Верхняя полоса простирается от глаза вдоль основания спинных плавников, нижняя — от глаза вдоль середины боковой стороны тела. Эти продольные полосы хорошо сохраняются и у экземпляров, фиксированных формалином.

У особи, имеющей второй тип рисунка, спина и бока темные, оливково-бурого цвета, и продольные полосы у живых бычков совершенно не заметны, однако обычно проступают в большей или меньшей степени после фиксации формалином. Темный фон у них усеян светлыми крапинками, которые на нижней стороне головы более округлы, располагаются гуще и образуют характерный сетчатый или мелкоячеистый рисунок. Бычок с полосатой окраской долгое время считался самостоятельным видом — *Tridentiger bifasiatus*. Бычок с темной окраской без полос был более известен под названием *Tridentiger bucco*. Однако никаких других различий, кроме окраски, между теми и другими нет.

Как показали наши наблюдения в Приморском крае, мелкие особи — все полосатые. Крупные экземпляры у мыса

Песчаного и п-ва Де-Фриз остаются полосатыми и вблизи уреза, а в устье р. Лянчихи и в зоне уреза мелководной части Амурского залива к северо-востоку от устья этой речки становятся темными, без полос. В некоторых участках Амурского залива с берега ловятся преимущественно темные, а с лодки — полосатые бычки этого вида.

Наблюдения над живыми экземплярами в природе позволили сделать маленькое, но любопытное открытие. Оказалось, что у этих рыб, когда они находятся на дне водоема в спокойном состоянии, продольные полосы отсутствуют. Вместо продольных полос у них заметны 7 неясных темноватых поперечных перевязок на спине и верхней части боков. У бычков, взятых в руки, пойманных сачком или просто сильно потревоженных в воде, эти поперечные перевязки в течение нескольких секунд исчезают, заменяясь четырьмя темными продольными полосами, которые проступают, словно изображение на фотобумаге в растворе проявителя.

Уместно заметить, что полосатый трехзубый бычок является очень многочисленным, массовым видом Амурского залива и совершенно напрасно не включен в книгу «Рыбы СССР» из серии «Справочники-определители географа и путешественника», в которой приведены некоторые более редкие и менее заметные виды бычков<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> См.: Лебедев В. Д., Спановская В. Д., Саввантова К. А., Соколов Л. И., Цепкин Е. А. Рыбы СССР. М., 1969.

## Космические исследования

**Запуски космических аппаратов в СССР (сентябрь — октябрь 1978 г.)**

В сентябре — октябре 1978 г. в Советском Союзе было запущено 24 космических аппарата, в том числе 16 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. В частности, на спутнике «Космос-1033» установлена аппаратура для изучения природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества.

Автоматические межпланетные станции «Венера-11 и -12» запущены в соответствии с программой исследования космического пространства и планет Солнечной системы<sup>1</sup>. В ходе полета получены интересные результаты, в частности, успешно реализуется советско-французская программа по изучению космических гамма-всплесков. Зарегистрированы новые вспышки гамма-излучения и свыше 20 слабых рентгеновских вспышек на Солнце.

Регистрация всплесков гамма-излучения и изучение солнечной активности ведутся также с помощью советско-французской аппаратуры, установленной на борту советской автоматической станции «Прогноз-7». Измерения, проводимые одновременно тремя далеко отстоящими друг от друга космическими аппаратами, позволят повысить точность определения координат космических гамма-всплесков и вспышек на Солнце.

<sup>1</sup> Подробнее о станциях «Венера-11 и -12» см.: «Природа», 1978, № 12, с. 118.

| Космический аппарат | Дата запуска | Параметры начальной орбиты |            |                  |                       |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------|------------------|-----------------------|
|                     |              | период, км                 | апогей, км | наклонение, град | период обращения, мин |
| «Космос-1030»       | 6. IX        | 650                        | 40 100     | 62,8             | 726                   |
| «Венера-11»         | 9. IX        | —                          | —          | —                | —                     |
| «Космос-1031»       | 9. IX        | 191                        | 351        | 62,8             | 89,6                  |
| «Венера-12»         | 14. IX       | —                          | —          | —                | —                     |
| «Космос-1032»       | 19. IX       | 218                        | 249        | 81,4             | 88,9                  |
| «Космос-1033»       | 3. X         | 223                        | 268        | 81,4             | 89,1                  |
| «Прогресс-4»        | 4. X         | 191                        | 266        | 51,7             | 88,8                  |
| «Космос-1034—1041»  | 4. X         | 1458                       | 1536       | 74               | 115,8                 |
| «Космос-1042»       | 6. X         | 187                        | 326        | 62,8             | 89,3                  |
| «Космос-1043»       | 10. X        | 625                        | 650        | 81,1             | 97,3                  |
| «Молния-3»          | 13. X        | 467                        | 40825      | 62,8             | 736                   |
| «Космос-1044»       | 17. X        | 211                        | 315        | 62,8             | 89,5                  |
| «Интеркосмос-18»    | 24. X        | 407                        | 768        | 83               | 96,4                  |
| «Радио-1 и -2»      | 26. X        | 1688                       | 1724       | 82,6             | 120,4                 |
| «Космос-1045»       | 26. X        | 1688                       | 1724       | 82,6             | 120,4                 |
| «Прогноз-7»         | 30. X        | 483                        | 202 965    | 65               | 5888                  |

Помимо советско-французской аппаратуры на станции «Прогноз-7» установлена научная аппаратура, созданная в Советском Союзе, ВНР, ЧССР и Швеции по программам международного сотрудничества в области исследования и использования космического пространства. Цель запуска — исследование корпускулярного и электромагнитного излучений Солнца, потоков солнечной плазмы, магнитных полей в околоземном космическом пространстве для определения влияния солнечной активности на межпланетную среду и магнитосферу Земли, а также исследование галактических ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-излучений.

Очередной спутник связи серии «Молния-3» предназначен для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита», а также в рамках международного сотрудничества.

Спутник «Интеркосмос-18» запущен в соответствии с программой сотрудничества социалистических стран в области исследования и использования космического пространства в мирных целях. На его борту установлена научная аппаратура, созданная специалистами ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР и предназначенная для проведения комплексных исследований взаимодействия магнитосферы и ионосферы Земли, а также единая телеметрическая система для непосредственного приема научной информации странами-участниками эксперимента.

На спутниках «Радио-1» и «Радио-2» (международный регистрационный индекс «РС»), запущенных вместе со спутником «Космос-1045» одной ракетой-носителем, установлена аппаратура для радиолобительской связи, проведения студентами вузов научно-технических экспериментов и учебных работ.

Автоматический грузовой транспортный корабль «Прогресс-4» доставил на ор-

битальную станцию «Салют-6» топливо для двигательной установки и различные грузы.

2 ноября 1978 г. после выполнения запланированной программы научно-технических исследований и экспериментов на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз» космонавты В. В. Коваленок и А. С. Иванченков благополучно возвратились на землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз-31». Тем самым был успешно завершён самый длительный в истории космонавтики пилотируемый полет продолжительностью 140 сут.

Космические исследования

### Завершена 140-суточная экспедиция на «Салюте-6»

2 ноября 1978 г. в 14 ч 5 мин по московскому времени завершился самый длительный в истории космонавтики пилотируемый полет продолжительностью 140 суток — космонавты В. В. Коваленок и А. С. Иванченков, стартовавшие на корабле «Союз-29» 15 июня 1978 г., благополучно возвратились на Землю.

В сентябре — октябре 1978 г. космонавты продолжали выполнять запланированную программу научно-технических исследований и экспериментов<sup>1</sup>: на электронгревательных установках «Сплав» и «Кристалл» были проведены очередные серии технологических экспериментов с целью получения в условиях невесомости полупроводниковых материалов, в том числе советско-чехословацкой эксперимент «Морава». В общей сложности на «Салюте-6» выполнено 55 экспериментов по космическому материаловедению.

Были продолжены иссле-

<sup>1</sup> О работе космонавтов на предыдущих этапах полета подробнее см.: «Природа», 1978, № 10, с. 127; № 11, с. 124; № 12, с. 117; 1979, № 1, с. 108.



Космонавты В. В. Коваленок (слева) и А. С. Иванченков после благополучного возвращения на Землю.

Фото ТАСС.

дования с помощью самого крупного научного прибора станции — субмиллиметрового телескопа БСТ-1М. В период лунного затмения космонавты исследовали УФ-свечение Луны, фотографировали различные фазы затмения. Измерения субмиллиметрового излучения атмосферы Земли дают возможность уточнить методы прогнозирования процессов, протекающих в земной атмосфере, а также получить данные об активных локальных областях в тропосфере Земли. С помощью телескопа выполнены измерения УФ-излучения ряда звезд с целью определения их относительной яркости и серия измерений УФ-излучения звезды  $\beta$  Центавра во время ее заходов за горизонт Земли, что позволяет получить сведения об озоновом слое земной атмосферы.

По-прежнему большое место в программе работ космонавтов занимали наблюдения и фотографирование поверхности Земли с целью изучения ее природных ресурсов и исследования окружающей среды, а также медико-биологические исследования и экспери-

менты. Космонавты регулярно вели наблюдения земной поверхности и акватории Мирового океана, оперативно передавали информацию о метеорологической обстановке в различных районах планеты. Во время полета орбитального комплекса над Памиром экипаж по заданию гляциологов провел наблюдения снежного покрова и ледников. Были выполнены также фотосъемки отдельных районов Казахстана, Средней Азии, Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока, Европейской части территории СССР, Каспийского моря, Кавказа.

По программе биологических исследований были продолжены эксперименты с высшими растениями. В частности, рост одного из них — арабидопсиса — проходил в камере «Фитон»; космонавты контролировали ход экспериментов, выполняли операции по созданию оптимальных условий для развития растений.

Много времени, особенно на заключительном этапе полета, космонавты отводили медицинским исследованиям и физическим упражнениям, что имеет большое значение для благоприятного протекания процессов реадaptации к земным условиям. Они также проводили регулярные тренировки с использованием вакуумного костюма «Чибис»; по мере приближения конца полета на-

грузки постепенно увеличивались. Для определения и прогнозирования состояния и работоспособности сердечно-сосудистой системы космонавтов осуществлялись комплексные обследования с дозированной физической нагрузкой на велоэргометре. Регистрация показателей выполнялась с помощью аппаратуры «Полином-2М», «Реограф» и «Бета». Проводились также исследования тонуса сосудов и отдельных групп мышц, нагрузка на которые в условиях полета неизвестна, измерения температуры тела и динамометрических параметров. Комплексные обследования космонавтов проводились в специальные медицинские дни. В общей сложности в период полета космонавты Коваленко и Иванченков выполнили около 50 медико-биологических исследований и экспериментов.

4 октября 1978 г. был осуществлен запуск автоматического грузового транспортного корабля «Прогресс-4», который доставил на пилотируемый комплекс топливо для объединенной двигательной установки станции «Салют-6», оборудование, аппаратуру, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа и проведения научных исследований и экспериментов, а также почту. В последующие дни космонавты наряду с выполнением запланированной программы исследований проводили разгрузку транспортного корабля, а также погрузку на «Прогресс-4» демонтированного на станции отработанного оборудования. 19 и 20 октября с помощью двигательной установки «Прогресса-4» была проведена коррекция орбиты комплекса. 24 октября «Прогресс-4» отделился от пилотируемого комплекса и после двухсуточного автономного полета 26 октября перешел на траекторию снижения, вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом акватории Тихого океана и прекратил свое существование.

В заключительные дни полета космонавты перенесли в спускаемый аппарат «Союз-31» кассеты с пленкой, по-

летную документацию и другие материалы, а также выполнили операции по консервации бортовых систем и аппаратуры станции «Салют-6» и подготовили ее к полету в автоматическом режиме.

Создание научно-исследовательского комплекса, включающего орбитальную станцию «Салют-6» с двумя стыковочными узлами, пилотируемые космические корабли «Союз» и автоматические грузовые корабли «Прогресс», успешное выполнение самого длительного в истории космонавтики пилотируемого полета продолжительностью 140 сут является выдающимся инженерно-техническим достижением советской космической науки и техники, открывающим широкие перспективы в дальнейшем освоении космоса на благо всего человечества.

**С. А. Никитин**

Москва

#### Космические исследования

### **Спутник «Лэндсат-3»**

5 марта 1978 г. в 15 ч 54 мин по гринвичскому времени с Западного испытательного полигона (авиабаза Ванденберг, Калифорния, США) запущен спутник «Лэндсат-3», предназначенный для изучения природных ресурсов Земли из космоса. Двухступенчатая ракета-носитель «Торад-Дельта» вывела спутник на солнечно-синхронную орбиту с высотой в перигее 897 км, в апогее — 914 км, наклонением 99,1° и периодом обращения 103,1 мин. При полете по такой орбите спутник делает 14 витков в сутки, что обеспечивает полный обзор поверхности земного шара в дневное время за 18 сут, при этом расстояние между последовательными трассами на экваторе составляет примерно 140 км. Так как спутник пролетает над исследуемой областью ранним утром (пересечение экватора

происходит в 9 ч 30 мин по местному времени), то условия освещенности и обзор поверхности при такой орбите — оптимальные, а препятствия из-за облачного покрова при дистанционном зондировании — минимальные.

Во второй декаде марта 1978 г. орбита спутника «Лэндсат-3» была скорректирована для его фазирования со спутником «Лэндсат-2» (имеющим такие же параметры орбиты), чтобы они поочередно, каждые 9 сут проходили над одним и тем же районом земной поверхности.

«Лэндсат-3» обладает массой 960 кг и по конструкции аналогичен двум предыдущим спутникам этого типа; он представляет собой модифицированный вариант экспериментального метеорологического спутника «Нимбус». Размеры спутника (выполненного в виде усеченного конуса) 1,5X X3 м, поперечник при развернутых панелях с солнечными элементами — 3,9 м.

Спутник оборудован трехосевой системой ориентации и стабилизации; в ее состав входят инфракрасные датчики земного горизонта: грубый, работающий в диапазоне 12—20 мкм с точностью 0,7°, и точный, работающий в диапазоне 14—16 мкм и обеспечивающий точность 0,03°.

Основное назначение научной аппаратуры спутника — получить изображения поверхности Земли в нескольких спектральных диапазонах для нужд сельского хозяйства, геологии, гидрологии, географии, картографии, океанографии и метеорологии, а также для изучения загрязнения окружающей среды. Для этого на спутнике установлены два типа устройств дистанционного зондирования земной поверхности!

● двухкамерная телевизионная система, обеспечивающая 20—25% общего объема видеoinформации. Камеры производят съемку в спектральном диапазоне 0,505—0,750 мкм. Каждый кадр соответствует участку земной поверхности 93X93 км, перекрытие участков не предусмотрено. Разрешение снимков 40 м,

что вдвое лучше, чем у камер спутников «Лэндсат-1 и -2». Камеры спутника могут функционировать независимо друг от друга, обеспечивая покадровую или непрерывную съемку; время между получением двух последовательных снимков 25 с, время передачи одного снимка 3,5 с, при съемке используются пять экспозиций (от 4 до 16 мс).

● многоспектральное сканирующее устройство для получения изображений в пяти спектральных диапазонах: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8; 0,8—1,1 и 10,4—12,6 мкм. Пятый диапазон (10,4—12,6 мкм) — дополнительный; его не было на спутниках «Лэндсат-1 и 2». Этот канал позволит более надежно прогнозировать урожаи сельскохозяйственных культур, а также определить тепловые характеристики горных пород и почв. Разрешение первых четырех каналов 80 м, дополнительного — 237 м.

Кроме того, на спутнике установлена система сбора и ретрансляции информации примерно от 1000 автоматических метео- и гидрологических станций, размещенных на территории США. Опрос каждой станции производится дважды в сутки; собирается информация от датчиков, регистрирующих температуру, уровень и скорость течения воды, плотность донных отложений, глубину снежного покрова, увлажненность почвы и т. п.

Расчетный период активного существования спутника «Лэндсат-3» один год. Помимо США (Космический центр им. Годдарда) станции для приема информации от спутников «Лэндсат» имеют Бразилия, Италия и Канада (две станции), ведется строительство станции в Иране, запланировано сооружение таких станций в Аргентине, Заире, Индии и Чили, рассматривается возможность их создания в Австралии, Швеции и Японии.

Одновременно со спутником «Лэндсат-3» той же ракетой-носителем были запущены спутники «Оскар-8» и PIX. «Оскар-8» (масса 27 кг) обращается примерно по такой же орбите, что и «Лэндсат-3», т. е. дважды в сутки

(в вечерние и утренние часы по местному времени) проходит в зоне радиовидимости каждого района земной поверхности. Расчетная продолжительность активного существования спутника 3 года. Он предназначен для использования школьниками, а также другими радиолюбителями на некоммерческой основе. Спутник разработан на средства американских радиолюбительских ассоциаций и изготовлен радиолюбителями США, Канады, ФРГ и Японии.

Спутник PIX (Plasma Interaction Experiment — эксперимент по изучению воздействия плазмы) массой 34 кг смонтирован на корпусе второй ступени ракеты-носителя и предназначен для изучения воздействия космической плазмы на оборудование высоковольтных бортовых систем космических аппаратов, в частности на солнечные элементы, проводники и изоляторы систем электропитания.

По материалам: «Aerospace Daily», 1978, v. 90, № 1, p. 5 (США); «Air et Cosmos», 1978, v. 15, № 709, p. 61; v. 15, № 711, p. 39 (Франция); «Interavia Air Letter», 1978, № 8964, p. 6 (Швейцария); «Spacewarn Bulletin», 1978, SPX-291, p. 8 (КОСПАР).

#### Космические исследования

### Спутник для термокартографирования Земли

26 апреля 1978 г. с Западного испытательного полигона (авиабаза Ванденберг, штат Калифорния) был произведен запуск спутника «НСММ» (Heat Capacity Mapping Mission — операция по термокартографированию), предназначенного для картографирования Земли в инфракрасных лучах. Запуск осуществлен с помощью ракеты-носителя «Скаут», которая вывела спутник на начальную солнечно-синхронную геоцентрическую орбиту с высотой в перигее 558 км, в апогее — 646 км, наклоном 97,6° и периодом обращения 96,7 мин (расчетная

орбита — круговая солнечно-синхронная высотой 620 км и наклоном 97,8°).

На борту спутника установлен двухдиапазонный инфракрасный радиометр для регистрации излучения различных участков земной поверхности в диапазонах 0,5—1,1 мкм (видимая и ближняя инфракрасная области) и 10,5—12,5 мкм (тепловая инфракрасная область). Пространственное разрешение прибора при измерениях с расчетной орбиты для обоих диапазонов составляет 600 м; измерения проводятся в полосе 700 км.

По результатам измерений максимальной и минимальной температуры оценивается величина нагрева участка земной поверхности в зависимости от поступающей солнечной энергии; при этом данные о поглощенной солнечной энергии получают в результате измерений отраженного излучения в видимой области.

Известно, что изменение температуры поверхности Земли зависит от характеристик подповерхностного слоя толщиной в несколько сантиметров. Об этих характеристиках нельзя составить ясного представления по наблюдениям в видимом диапазоне, например с использованием приборов спутников «Лэндсат». В то же время эти характеристики чрезвычайно важны для геологии, а данные об увеличении поверхностной температуры — для сельского хозяйства, поскольку они указывают на увлажненность почвы и испарения с поверхности.

С помощью информации, полученной от спутника «НСММ», планируется:

● определить типы геологических пород, в частности в тех районах, где они уже известны, чтобы оценить точность спутниковых измерений;

● выявить изменения в увлажненности почвы;

● определить температуру растительного покрова через достаточно малые интервалы времени, чтобы оценить скорость испарения воды и резко неблагоприятные условия для растений;

● оценить влияние повышенной температуры городских зон на окружающие районы;

● получить данные о снежном покрове для прогнозирования стоков воды;

● осуществить картографирование температурных градиентов суши и водной поверхности, при этом предполагается получить изображения поверхности в масштабе 1:4 000 000 в видимой и инфракрасной областях спектра, а также данные о суточных перепадах температуры.

«Spacewarn Bulletin», 1978, № SPX-295, p. 3 (КОСПАР); «Journal British Interplanetary Society», 1978, v. 31, № 8, p. 313—316 (Великобритания).

#### Космические исследования

### Спутник «СИСАТ-1»

27 июня 1978 г. в 1 ч 12 мин по гринвичскому времени с Западного испытательного полигона (аэробаза Ванденберг, штат Калифорния) был осуществлен запуск спутника «Сисат-1» (Sea Satellite), предназначенного для океанографических исследований. Запуск произведен с помощью ракеты-носителя «Атлас-Аджена», которая вывела спутник на близкую к расчетной полярную орбиту с высотой в перигее 769 км, в апогее — 799 км, наклонением  $108^\circ$  и периодом обращения 100,7 мин. Обращаясь по такой орбите, «Сисат-1» будет совершать 14 витков в сутки, а его приборы охватят наблюдениями 95% поверхности Мирового океана каждые 36 час.

Масса спутника ~2300 кг, длина 12,2 м, максимальный диаметр 1,5 м; спутник состоит из блока научной аппаратуры и блока служебного оборудования, смонтированного на ракете «Аджена».

На спутнике установлены пять приборов:

● импульсный радиолокационный высотомер, который обеспечивает в полосе шириной от 2 до 10 км вдоль трассы полета измерение высоты

волн (в диапазоне 2—20 м) с точностью до 10% и расстояния между морской поверхностью и спутником с точностью до 10 см. Эти измерения позволяют определить топографию морской поверхности и ее влияние на приливы, штормовые валы и морские течения;

● радиолокатор с синтезированной апертурой, использующий антенну с отражателем длиной 10,7 м и шириной 2,1 м; прибор просматривает полосу шириной 100 км вдоль трассы и регистрирует высоту и направление движения морских волн, ледовые поля, проходы в них, айсберги, а также границы снежного покрова и положение береговой зоны. Разрешение прибора 25 м, что позволит, как показали эксперименты, обнаруживать рыболовецкие лодки и определять их координаты с точностью до 98%. С помощью измерений этими двумя приборами специалисты могут находить топографические характеристики морской поверхности, определяемые приливами, штормовыми явлениями и морскими течениями;

● микроволновый радиолокационный скаттерометр для измерений скорости ветра у морской поверхности в диапазоне 4—20 м/с с точностью до 25% и определения направления ветра с точностью до 20%. Прибор проводит измерения в полосе шириной около 1000 км;

● сканирующий многоканальный микроволновой радиометр для измерений температуры морской поверхности с точностью до  $1-2^\circ\text{C}$  и определения скорости ветра у поверхности (до 50 м/с), а также содержания водяных паров в атмосфере. Прибор проводит измерения в полосе шириной 650 км вдоль трассы полета;

● радиометр, работающий в видимой и инфракрасной областях спектра и дающий информацию об атмосферных условиях, характере облачного покрова, температуре морской поверхности, особенностях морских и береговых зон. Прибор просматривает полосу шириной 1500 км и имеет разрешение 4 км в видимой области и 9 км в инфракрасной области.

Расчетный период активного существования спутника один год, однако в случае необходимости его аппаратура сможет функционировать два года.

«Interavia Air Letter», 1978, № 9023, p. 7, 8, № 9034, p. 6; № 9035, p. 7, 8; № 9037, p. 9 (Швейцария).

#### Планетология

### Фобос — углистый хондрит

Анализ оптических свойств поверхности Фобоса, проведенный группой американских исследователей, работающей в рамках программы «Викинг», показал, что этот спутник Марса имеет почти черный цвет, отражая 5% падающего от него света с длиной волны от 1,1 до 0,4 мкм и лишь 1% — с длиной волны 0,2 мкм. При анализе были использованы спектры отражения, полученные с помощью спектрометра «Маринера-9», и 17 изображений Фобоса на фоне ночного неба Марса, сделанных через различные интерференционные светофильтры телекамерами посадочного блока «Викинга-2».

Такое резкое падение отражательной способности на длинах волн меньше 0,4 мкм характерно для астероидов Церера и Паллада. Известно, что спектр Цереры совпадает со спектром углистых хондритов — каменных метеоритов, содержащих хондры (сферические силикатные образования) и обогащенных углеродом.

Сравнение отражательных свойств поверхности Фобоса, базальтового порошка и порошка углистого хондрита показало, что спектр спутника Марса хорошо согласуется со спектром хондрита и не согласуется со спектром базальта. На основании этих данных был сделан вывод, что поверхность Фобоса близка по составу к углистым хондритам. Из-за малых размеров спутника (его средний диаметр 20 км) и наличия на нем кратеров, вскрывающих вещество более глубоких слоев, можно считать, что

такой состав характерен не только для поверхности, но и для Фобоса в целом.

Вывод о хондритовом составе согласуется с величиной средней плотности Фобоса  $1,9 \pm 0,6 \text{ г/см}^3$ , вычисленной на основе данных об его объеме и массе. Объем спутника был определен путем измерений телевизионных изображений Фобоса, полученных орбитальным блоком станции «Викинг-1», а масса — по влиянию Фобоса на расчетную траекторию «Викинга-1» во время пролета в 80 км от поверхности спутника. Подобная плотность характерна для хондритов и гораздо ниже, чем плотность базальтов ( $\sim 3 \text{ г/см}^3$ ).

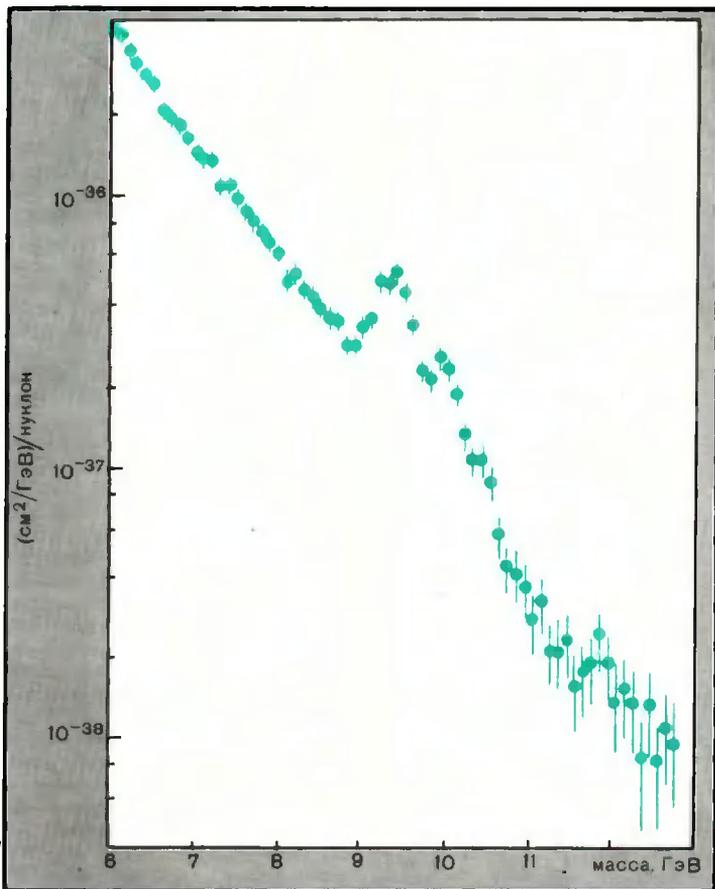
Разница химического состава Фобоса и Марса указывает на то, что этот спутник образовался, вероятно, отдельно от Марса (возможно, в поясе астероидов между Марсом и Юпитером) и впоследствии был захвачен планетой.

«Science», 1978, v. 199, № 4324, p. 61—69 (США).

Физика

### Обнаружено семейство $\Upsilon$ -мезонов

На прошедшей в августе 1978 г. в Токио XIX Международной конференции по физике высоких энергий Л. Ледерман (США) сообщил новые сведения о семействе  $\Upsilon$ -мезонов. Ранее возглавляемая им группа получила первые результаты<sup>1</sup> при исследовании спектра масс мюонных пар, рождающихся в результате падения на мишень интенсивного пучка протонов с энергией 400 ГэВ. При значении массы мюонной пары 9,5 ГэВ в изучаемом спектре был зафиксирован отчетливый пик, интерпретированный как рождение новой частицы  $\Upsilon$ , распадающейся затем на пару  $\mu^+\mu^-$ . В дальнейших опытах на протонном синхротроне Национальной ускорительной ла-



Спектр масс пар  $\mu^+\mu^-$ , полученный группой Л. Ледермана на протонном синхротроне лаборатории им. Э. Ферми.

боратории им. Э. Ферми разрешающая способность установки была повышена и число зарегистрированных случаев рождения мюонных пар увеличилось в несколько раз. Вскоре были получены доказательства существования второй частицы того же семейства:  $\Upsilon'$ -мезона, масса которого равнялась 10,04 ГэВ, хотя относительно большая ширина второго пика допускала и другие значения.

В экспериментах со вторичными электрон-позитронными пучками, выполненными на электронном ускорителе DESY (ФРГ), была точно измерена разность масс  $\Upsilon'$ - и  $\Upsilon$ -мезонов:  $\Delta m = 556 \pm 3 \text{ МэВ}$ . В результате получилось несколько

меньше значение массы  $\Upsilon'$ -мезона, что позволило различить во втором пике два узких резонанса. Используя эти данные при новом анализе спектра масс  $\mu^+\mu^-$ -пар, Л. Ледерман пришел к заключению, что существует третья частица —  $\Upsilon''$ -мезон. По последним данным,  $m(\Upsilon) = 9,46 \text{ ГэВ}$ ,  $m(\Upsilon') = 10,01 \text{ ГэВ}$  и  $m(\Upsilon'') = 10,36 \text{ ГэВ}$ .

Своими свойствами  $\Upsilon'$ -частицы напоминают обнаруженные в 1974 г.  $J/\psi$ -мезоны, которые представляют собой связанные состояния очарованных кварков<sup>2</sup>. По-видимому, для описания семейства  $\Upsilon'$ -частиц теория нуждается во введении пятого кварка, уже получившего обозначение b (от английско-

<sup>1</sup> «Природа», 1978, № 1, с. 137.

<sup>2</sup> Окунь Л. Б. Новые мезоны. — «Природа», 1976, № 8.

го beauty — прелесть). Его масса должна быть  $\sim 5$  ГэВ, а электрический заряд  $-1/3$ . Пятый кварк является носителем нового квантового числа, названного «прелестью». По этой схеме  $\Upsilon$ -мезоны интерпретируются как связанные состояния ( $b\bar{b}$ ) и сами прелестью не обладают. Теоретически должны, однако, иметься частицы с явно наблюдаемой прелестью ( $b\bar{d}$ ,  $b\bar{u}$  и т. п.). Они могут быть обнаружены в нейтринных экспериментах.

Вопрос о числе кварков связан также с вопросом о числе лептонов; наиболее приемлемо, если эти числа совпадают. Уже давно известны четыре лептона: электрон, мюон и соответствующие им нейтрино двух сортов; трех кварков ( $u$ ,  $d$ ,  $s$ ) вполне хватало для описания свойств всех обнаруженных к тому времени адронов. Кварк — лептонная симметрия потребовала четвертого кварка ( $c$ ), существование которого стало практически несомненным после обнаружения  $J/\psi$ -мезонов. Затем последовало неожиданное открытие тяжелого  $t$ -лептона с массой  $1782 \pm \pm 4$  МэВ, аналогичного по другим свойствам электрону и мюону<sup>3</sup>. Если  $t$ -лептон, как и этим лептонам, соответствует свой сорт нейтрино, то число кварков должно возрасти до шести. После обнаружения  $\Upsilon$ -мезонов мы, видимо, имеем уже пять из них. Предполагается, что шестой кварк  $t$  (от английского truth — истина) имеет массу не менее 8 ГэВ, а его электрический заряд равен  $2/3$ . Тогда связанные состояния ( $t\bar{t}$ ) образуют семейство частиц, подобных  $J/\psi$  и  $\Upsilon$ , но с еще большими массами. Данные группы Ледермана по спектру мюонных паз простираются до области 19 ГэВ, но никакие явных свидетельства существования более тяжелых мезонов пока не найдено.

Встает вопрос о пределе, до которого может расти число «элементарных кирпичиков», составляющих адроны. Многие склонны думать, что существует не более 16 сортов кварков.

Тогда в природе не должно быть более восьми видов нейтрино. Предпринимались попытки оценить их число на основе данных астрофизики. Согласно современной космологии, на некоторой достаточно ранней стадии эволюции Вселенной имеется тепловое равновесие по всем легким частицам (нейтрино, фотонам). Их вклад в плотность энергии, растущей так  $T^4$ , оказывается больше, чем вклад барионов. Вклад каждого нового типа нейтрино сказывается в том, что при заданном времени расширения Вселенной температура будет ниже. В результате процесс синтеза элементов меняется так, что растет выход ядер гелия. Поскольку  ${}^4\text{He}$  не так легко разрушался в процессе эволюции, наблюдаемое ныне количество  ${}^4\text{He}$  ( $\sim 29\%$  по массе) дает верхнюю оценку на его первоначальную распространенность во Вселенной. Из цепочки рассуждений: «новые лептоны — возрастание плотности энергии — увеличение количества  ${}^4\text{He}$ » получается ограничение сверху на число различных видов нейтрино. Оказалось, что вместе с  $\nu_e$  и  $\nu_\mu$  в мире существует не более семи различных видов нейтрино (что не противоречит теоретическим представлениям). Нужно только помнить, что, как и любые вычисления, основанные на космологических моделях, эта оценка не слишком точна. Имеются предложения по непосредственному измерению числа типов нейтрино в некоторых реакциях, например в процессе  $e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}$ , так что окончательный ответ дадут дальнейшие эксперименты.

«CERN Courier», 1978, v. 18, № 9, p. 283 (Швейцария); «Physics Letters», 1977, 66 B, № 2, p. 202 (США).

Физика

### Магнитная лента молекулярной толщины

М. Померанц, Ф. Дейкел и А. Сегмюллер (Исследовательский центр им. Т. Уотсона

фирмы «Ай Би Эм», Нью-Йорк, США) впервые создали двумерную магнитную структуру, толщину которой можно менять от одного до нескольких молекулярных слоев. Обычно квазидвумерные, т. е., по существу, трехмерные магнитные структуры, состоящие из мелкодисперсных порошков (например,  $\text{MnO}$ ), введенных в немагнитную матрицу, обладают высокой коэрцитивной силой, что затрудняет эффективную запись и воспроизведение слабых сигналов. Кроме того, хаотическое расположение элементарных магнитных моментов и их тепловое движение приводит к уменьшению магнитной проницаемости, затруднению перемещения границ доменов и возникновению шумов. Полученная американскими исследователями двумерная структура, имея высокую степень однородности и упорядоченности в расположении магнитных моментов, почти лишена указанных недостатков и, кроме того, должна также иметь сильную магнитную анизотропию, т. е. направление легкого намагничивания.

Магнитную пленку получали путем нанесения на кварцевую подложку мономолекулярных слоев стеарата марганца. Вначале на поверхности водного раствора хлористого марганца создавалась пленка стеариновой кислоты  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_3$ . При добавлении щелочи рН раствора постепенно повышался до 6,5—6,8. При этом значении рН ионы  $\text{Mn}^{2+}$  замещали ионы  $\text{H}^+$  на концах кислотных групп  $\text{HOOC}-$ , ориентированных перпендикулярно поверхности и погруженных в раствор; образовывался стеарат  $\text{Mn}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$ . Затем пленка вынималась из раствора: перпендикулярно его поверхности опускалась кварцевая подложка, молекулы стеарата прикреплялись к кварцу своими ионными концами — группами  $\text{Mn}^{2+}(\text{COO})_2$ . Так создавался монокристаллический слой  $\text{Mn}^{2+}$ .

Была получена и более сложная структура, состоявшая из слоя осаждаемого на кварц стеарата кадмия (немагнитного), присоединенного к нему углеводородными концами

<sup>3</sup> «Природа», 1978, № 2, с. 145.

слоя стеарата марганца, и еще одного слоя стеарата марганца,  $Mn^{+2}(OOC)_2$ -группы которого были присоединены к таким же группам предыдущего слоя.

Анализ спектра электронного парамагнитного резонанса слоя  $Mn^{+2}$  и его рентгеновского дифракционного спектра подтвердил двумерность полученной структуры марганца.

«Physical Review Letters»,  
1978, v. 40, № 4, p. 246  
(США).

Физика

### Пространственная локализация экситонов и электронно-дырочной жидкости

Известно, что при неоднородном сжатии полупроводникового кристалла электронно-дырочные капли локализируются в потенциальных ямах, возникающих в местах наибольшей деформации кристаллической решетки<sup>1</sup>. Однако до последнего времени такая локализация наблюдалась лишь для электронно-дырочных капель, но не для свободных экситонов.

П. Герли и Дж. Вольф (Иллинойский университет, Урбана, США) сообщили о наблюдении дрейфа свободных экситонов и молекулярных экситонов (так называемых биэкситонов) от места их возбуждения в кристалле к потенциальной яме и локализации в ней. При понижении температуры полупроводника наблюдался фазовый переход свободных экситонов и биэкситонов в «жидкое» состояние.

Эксперимент проводился с монокристаллом чистого кремния (плотность примесей не превышала  $10^{12}$  атомов  $\cdot$  см<sup>-3</sup>) размером  $4 \times 4 \times 1,8$  мм, сжатом в вертикальном направлении вдоль одной

из кристаллографических осей давлением порядка  $50—55$  кг/мм<sup>2</sup>. Образец находился в гелиевом криостате. Экситоны, создававшиеся в результате облучения одной из граней монокристалла светом аргонового лазера (длина волны  $5145 \text{ \AA}$ ), диффундировали к потенциальной яме вблизи верхней плоскости кристалла. Пространственная картина диффузии и локализации экситонов, ее изменение при фазовом переходе, который происходил при температуре 4К, наблюдалась по рекомбинационному ИК-излучению. Фазовый переход сопровождался резким уменьшением геометрических размеров области, занятой электронно-дырочной каплей и имевшей сферическую форму, и изменением формы спектра рекомбинационного излучения. Плотность жидкости из электронно-дырочных капель оказалась порядка  $4 \cdot 10^{17}$  частиц  $\cdot$  см<sup>3</sup>, а ее время жизни по отношению к рекомбинационному распаду — 2 мкс.

«Physical Review Letters»,  
1978, v. 40, № 8, p. 526  
(США).

Физика

### Магнитные поля лазерной плазмы

Группа специалистов из Исследовательской лаборатории Военно-морских сил США и Резерфордской лаборатории (Оксфордшир, Великобритания) практически одновременно сообщили о наблюдении сильных магнитных полей от 0,6 до 1,8 МГс, возникающих при разлете плазмы, образующейся при поджиге мишени сфокусированным лазерным импульсом.

Мишень облучалась светом неодимового лазера с длительностью импульса 75 пкс и плотностью световой мощности на поверхности мишени  $\sim 10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>. Мишенями служили алюминиевые, стальные и полистироловые пластинки, а также полистироловые шарики. Характерный размер плазмы составлял  $\sim 20$  мкм.

Магнитные поля возникали спустя 15 пкс после начала импульса, достигали максимальных значений через 50 пкс и, постепенно затухая, прослеживались в течение 450 пкс. Их силовые линии были ориентированы азимутально относительно оси лазерного луча, образуя с его направлением правовинтовую систему. При уменьшении энергии лазерного импульса на один порядок эффект исчезал.

Магнитное поле регистрировалось по фарадеевскому вращению плоскости поляризации зондирующего луча, пропущенного через расширяющуюся плазму перпендикулярно основному лучу. Зондовый пучок создавался из основного плоскополяризованного светового пучка отщеплением его небольшой части, которая затем пропускалась через кристалл КДР для генерации 2-й гармоники и далее через ячейку с этанолом, где происходил рамановский сдвиг его частоты. (Последнее необходимо для ликвидации маскирующего эффекта такой же гармоники в собственном излучении плазмы.)

Механизм образования таких магнитных полей пока неясен.

«Physical Letters», 1978,  
v. 40, № 18 (США);  
«New Scientist», 1978,  
v. 78, № 1102, p. 368  
(Великобритания).

Молекулярная биология

### Двунитчатая РНК видна под микроскопом

Как известно, вирус мозаичной болезни табака содержит однопнитчатую РНК. При внутриклеточном размножении вируса в качестве обязательного этапа постулировался ее переход в двунитчатую форму (т. е. репликация). Однако до настоящего времени никому не удавалось доказать существование такой двунитчатой РНК.

Попытки выделения и очистки вирусной РНК из клеток табака ранее проводились

<sup>1</sup> Багаев В. С., Покровский Я. Е. Электронно-дырочные капли в полупроводниках. — «Природа», 1978, № 3.

с помощью фенола и детергентов. Такая обработка сама по себе может приводить к образованию сдвоенных комплексов. К. Деррик (Университет штата Луизиана, США) исследовал с помощью электронного микроскопа клеточные экстракты из зараженных вирусом мозаики табачных листьев. Ему удалось получить четкие фотографии, на которых видны двойные комплексы. С помощью иммунологической реакции была доказана вирусная природа этих комплексов.

«Science», 1978, v. 199, № 4328, p. 538—539 (США).

#### Медицина

### Курение и память

Группа психологов и психиатров из Университета штата Калифорния, возглавляемая Дж. П. Хьюстоном и М. Э. Джарвиком, изучала влияние курения на человеческую память.

23 «привычных курильщика» были разбиты на две группы; каждой из них экспериментатор читал (при скорости чтения 1 слово в 1—2 секунды) список из 75 слов, включающий различные имена, названия профессий, наименования растений, животных, минералов и т. п. Спустя 3 минуты испытуемый должен был повторить слова, которые он сумел запомнить.

В первой серии опытов это делалось до того, как испытуемые выкурили свою первую сигарету за данные сутки. Затем эксперимент повторялся после выкуривания в первой группе — одной сигареты с фильтром, содержащей 1,5 мг никотина, а в другой группе — сигареты, лишенной никотина, причем испытуемые не знали, что именно им дали выкурить. Через двое суток опыт повторялся, чтобы установить, насколько прочно удерживается в их памяти полученная информация.

Оказалось, что в среднем существенно большее количество слов запомнили те, кто курил сигареты без никотина. В случаях, когда проверка

следовала спустя двое суток, эффект отрицательного воздействия никотина был сильнее, чем при опросе спустя лишь 3 мин.

Таким образом, делается вывод, что никотин ухудшает как оперативную, так и — особенно — долгосрочную память.

«Science News», 1978, v. 113, № 12, p. 181 (США).

#### Медицина

### Рифамицин и пересадка органов

До настоящего времени антибиотик рифамицин широко применялся для лечения туберкулеза. Его действие основано на том, что, связываясь с РНК-полимеразой, он препятствует белковому синтезу в бактериальной клетке. Однако ранее никто не отмечал такого действия рифамицина на эвкарриотные клетки.

Исследователи из Университета в Нью-Мехико (США) обнаружили, что антибиотик препятствует образованию полипептидной цепи на рибосомах в клетках вилочковой железы. Дозы рифамицина в экспериментах соответствовали его концентрации в сыворотке крови больных, которых лечили с помощью этого антибиотика от туберкулеза. В результате стала ясной причина снижения иммунитета, нередко наблюдаемая у таких больных. Рифамицин теперь предлагается использовать в качестве иммунодепрессанта — средства для снижения иммунного ответа организма при трансплантации органов (как известно, иммунная реакция на чужеродные ткани — основное препятствие, ограничивающее возможности пересадки органов). Для подавления реакций иммунитета ранее применялись стероидные гормоны типа кортизона или преднизона и химиотерапевтические препараты типа имурана, которые обладают побочными эффектами.

«Science», 1978, v. 200, № 4300, p. 432—434 (США).

#### Медицина

### Простагландины против инфаркта

Простагландины — обширная группа биологически активных веществ, первые представители которой были выделены из предстательной железы овец. По-видимому, они служат регуляторами гормональной активности.

У. Басса и Р. Морган (Университет им. Т. Джефферсона, США) провели исследование простаглицина — вещества из этой группы, содержащегося в стенках кровеносных сосудов. Установлено, что простаглицин может оказаться очень эффективным при лечении инфаркта миокарда. Как известно, при развитии инфаркта происходит внезапное сужение коронарных сосудов, образование в них тромбов и локальный некроз сердечной мышцы. В опытах на крысах простаглицин вызывал снижение артериального давления, не влияя на коронарное кровообращение. Кроме того, простаглицин препятствует образованию конгломератов тромбоцитов, а этот процесс является одним из начальных этапов при образовании тромбов. Простаглицин укрепляет оболочки лизосом, препятствует выделению протеолитических ферментов, которые способствуют образованию некротических изменений мышц.

Таким образом, эффективность действия простаглицина связана с тем, что он может устранить многие из причин возникновения инфаркта миокарда.

«Science», 1978, v. 200, № 4337, p. 52—54 (США).

#### Биохимия

### Органические вещества минеральных вод

Органические вещества широко распространены во всех подземных минеральных водах (от 1 до 100 мг/л и более).

Сотрудники Пятигорского научно-исследовательского института курортологии и физиотерапии Минздрава РСФСР Г. В. Бунакова, Ю. К. Василенко, В. М. Дерябина и др. в течение нескольких лет исследовали структуру и биологическое действие органических веществ минеральных вод<sup>1</sup>.

Чаще всего эти вещества минеральных вод имеют торфяное или нефтяное происхождение и в соответствии с этим подразделяются на гумусовые и битумные. Гумусовые вещества (гуминовые кислоты, фульвокислоты и пр.) — это высокомолекулярные соединения, образующиеся в результате сложных биохимических процессов разложения животных и растительных организмов. Битумные вещества состоят из сложных соединений парафиновых углеводородов, нафтеновых кислот, смол, асфальтенов и др. Кроме того, в минеральных водах присутствуют органические вещества, относящиеся к карбоновым кислотам, сложным эфирам, аминам, аминокислотам и другим соединениям.

За несколько лет сотрудники института обследовали свыше 300 минеральных источников Северного Кавказа и Предкавказья. Оказалось, что содержание органических веществ в большинстве минеральных вод не превышает 30 мг/л. Так, в водах курортов Кавказских Минеральных вод, Нальчика, Горячего ключа их до 10 мг/л. Такое же количество содержится в трускавецкой воде «Нафтуся»; при слабой минерализации свой высокий лечебный эффект она оказывает, очевидно, именно благодаря содержанию органических веществ. В некоторых минеральных водах содержание органических веществ повышено: например, в минеральных водах Майкопа — 40 мг/л, Нефтегорска — 33 мг/л, Хиво — 140 мг/л, Кемери — 118 мг/л.

Для оценки биологиче-

ского действия органических веществ сотрудниками экспериментального отдела института проведены многочисленные опыты на собаках, кроликах и белых крысах. Действие гумусовых веществ проверялось на Майкопской минеральной воде («Майкоп-4»), а битумных — на Нефтегорской. «Майкоп-4» содержит, по данным Бунаковой, органических веществ 40 мг/л, причем на долю гумусовых приходится 84%, на долю битумных — лишь 16%. Нефтегорская вода содержит органических веществ 33 мг/л, из них 29% составляют вещества гумусового характера и 71% — битумного.

В течение месяца животным вводилась вода с разной концентрацией органических веществ (от 10 до 60 мг/л). Как показали опыты, высокое содержание преимущественно гумусовых веществ (30—60 мг/л) вызывало существенные изменения в деятельности отдельных органов и систем организма: снижалась секреция желчи с одновременным увеличением в ней холестерина, тормозилось тканевое дыхание печени, замедлялось всасывание глюкозы, снижалась скорость эвакуации в желудочно-кишечном тракте. Изменения отмечались и со стороны почек: уменьшалось мочеотделение, нарушалась фильтративная способность клубочкового аппарата почек, наблюдался сдвиг реакции мочи в щелочную сторону, изменялась реактивность организма. В опытах с использованием аналогов Майкопской воды, не содержащих органических веществ, патологических изменений в организме животных не отмечалось. В случаях, когда концентрация гумусовых веществ составляла 10 мг/л, не только не наблюдалось никаких патологических изменений, наоборот, отмечена тенденция к увеличению секреции желчи с повышенным содержанием желчных кислот, улучшению тканевого дыхания и другим положительным сдвигам.

держщей преимущественно битумные вещества в концентрации 33 мг/л, положительного результата достигнуто не было. Наоборот, восстановление функции большой печени затягивалось.

Итак, выясняется, что наличие в минеральных водах органических веществ гумусового и битумного характера свыше 10 мг/л у здоровых животных вызывает нарушение функций отдельных органов и систем организма, а у больных задерживает выздоровление. Минеральные воды, содержащие 10 и менее мг/л органических веществ, вредным влиянием не обладают и даже, напротив, воздействуют положительно. Более выраженное отрицательное действие в эксперименте получено от гумусовых соединений.

На основе проведенных исследований Бунакова и Василенко разработали оптимальные количественные показатели и стандартизировали органический состав минеральных вод для лечебно-профилактического применения. Согласно этим данным, количество органических веществ в лечебно-столовых водах не должно превышать 10 мг/л, а в лечебных — не более 30 мг/л. Количественные критерии органических веществ в минеральных водах включены в ГОСТ<sup>2</sup>; они обязательно учитываются при характеристике новых минеральных вод и их использовании в лечебных и профилактических целях.

**И. И. Коновалов,**  
кандидат медицинских наук  
Эссентуки

Биохимия

## Пироны — средство самозащиты жуков-светляков

То, что жуки-светляки содержат в крови и тканях ядовитые вещества, защищающие

<sup>1</sup> Питьевые минеральные воды. — Сб. научных трудов. Пятигорск, 1976.

При введении животным с искусственно вызванным поражением печени Нефтегорской минеральной воды, со-

<sup>2</sup> ГОСТ 13273—73. «Воды минеральные, питьевые, лечебные и лечебно-столовые».

их от ящериц, птиц и некоторых хищных млекопитающих,— известно давно, но природа этих соединений оставалась неразгаданной. Американские исследователи из Корнеллского университета<sup>1</sup>, используя дроздов рода *Hylocichla*, провели специальные опыты, в которых определялось, съедобны или не съедобны для птиц экстракты и отдельные фракции экстрактов жуков-светляков *Photinus ignitus*, *Ph. marginellus*.

Методом тонкослойной хроматографии были выделены три новых очень близких стероидных пирона, которые, как оказалось, и обеспечивают эффективную защиту жуков от птиц (эти химические соединения названы люцибуфагинами А, В, С).

Стероидные пироны имеют ограниченное распространение в природе: они содержатся только в яде жаб и в некоторых видах растений. В организме беспозвоночных животных они найдены впервые. Установлено, что люцибуфагины наиболее близки к буфадиенолидам жаб. Структурная формула люцибуфагинов полностью еще не расшифрована.

Люцибуфагины обладают быстрым отпугивающим действием, т. е. отвергаются птицами до проглатывания; в тех редких случаях, когда люцибуфагины заглатываются, они вызывают рвоту. Интересно, что и другие защитные вещества насекомых (например, карденолиды бабочки-монарха) также вызывают рвоту у птиц. Буфадиенолиды и карденолиды повышают тонус сердца позвоночных животных; не исключено, что и люцибуфагины имеют такое же физиологическое свойство.

Происхождение люцибуфагинов у жуков-светляков пока неясно. Их синтез в организме из простых нестероидных соединений крайне маловероятен. Скорее можно допустить, что люцибуфагины

синтезируются из поступающего с пищей холестерина (так образуются буфадиенолиды в организме жаб). Однако следует учитывать, что ряд защитных стероидов насекомых вообще не синтезируется в организме. Карденолиды бабочки-монарха, например, заимствованы ею у растений с млечным соком, которыми питались ее гусеницы. К сожалению, сведений о питании жуков-светляков очень мало, но возможность поступления люцибуфагинов с пищей исключить нельзя. В то же время трудно допустить, что светляки питаются такой же пищей, что и жабы.

**В. М. Емец,**  
кандидат биологических наук  
Воронеж

#### Биология

### Тараканы и пестициды

Д. У. Гэммон (Кембриджский университет), введя в организм тараканов миниатюрные электронные приборы, позволяющие регистрировать нервные импульсы, в течение четырех месяцев проводил наблюдения над особями, опрысканными различными дозами аллетрина — довольно широко применяемого пестицида, принадлежащего к классу пиретроидов.

До сих пор полагали, что пиретроиды токсически действуют на центральную нервную систему. Опыты Гэммона говорят о влиянии аллетрина, в первую очередь, на периферическую нервную систему, управляющую моторной деятельностью насекомого.

Оказалось также, что аллетрин при температуре 15°C обладает на порядок большей эффективностью, чем при 32°C. Это опровергает существующее мнение, согласно которому биологическая активность таких веществ растет с температу-



### Растет численность серых китов

Благодаря запрету коммерческого промысла серых китов чукотско-калифорнийской популяции, введенному еще в 1937 г., численность ее увеличилась с нескольких сот до 10—11 тыс. голов<sup>1</sup>. Наблюдения последних лет показывают, что молодые киты этого вида стали появляться в мелководных лагунах западной части Калифорнийского залива, в том числе в бухте Сан-Квинтин, где они не встречались, видимо, с начала XX в.<sup>2</sup>. Показательно, что обживают эту лагуну молодые киты — только что кончившие питаться молоком или детеныши прошлого года рождения. Пока, однако, не зарегистрировано ни одного случая размножения китов в лагуне Сан-Квинтин, как это наблюдается в таких всемирно известных местах размножения серых китов, как бухты Скаммон, Сан-Игнасио, Магдалена и т. п.

Лагуна Сан-Квинтин представляет собой илистое мелководье, обнажающееся во время максимальных отливов; во время прилива вода поднимается в ней на высоту до 2 м. Лагуна прорезана приливно-отливными каналами глубиной 6—12 м и заселена многочисленными бентоносными беспозвоночными, среди которых самый массовый вид — придонный рачок-бокoplав *Ampelisca compressa* (до 40 тыс. экз. на 1 м<sup>2</sup>). Видимо, лагуны, подобные Сан-Квинтин, могут служить своеобразными на-

<sup>1</sup> Rice D. C., Wolman A. A. The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). «Amer. Soc. Mammal. Spec. Publ.», 1971, № 3, p. 1—142.

<sup>2</sup> Srague J. G., Miller N. B., Sumich J. L. Observation of gray whales in Laguna de San Quintin, Northwestern Baja California, Mexico. «J. Mammal.», 1978, v. 59, № 2, p. 425—427.

<sup>1</sup> «Proc. Nat. Acad. Sci. USA», 1978, v. 75, № 2, p. 905—908.

«Science News», 1978, v. 113, № 12, p. 187 (США).

## Зоология

**Хамелеон-снайпер**

гульными полями для молодых животных, которые остаются здесь круглый год и не мигрируют летом с основной частью стада в полярные воды Чукотского и Берингова морей. Во всяком случае, в последние годы в летние месяцы 2—3 молодых кита регулярно наблюдаются в этой лагуне.

Пример восстановления почти истребленной популяции крупных китообразных подчеркивает эффективность международных усилий по охране китов. В то же время возникает вопрос, до какого уровня сможет возрасти численность этой популяции, когда-то достигавшей 20—25 тыс.<sup>3</sup>. До освоения человеком тихоокеанского побережья Северной Америки серые киты размножались не только в мексиканских водах, омывающих Калифорнийский п-ов, но и севернее — в районах заливов и лагун Сан-Диего (ныне входящих в акваторию порта Сан-Диего), Лос-Анджелеса и, возможно, залива Сан-Франциско. Ныне все эти акватории настолько насыщены всевозможной техникой, что трудно предполагать восстановление здесь мест разведения серых китов. Определенная опасность существует и в районе Калифорнийского п-ова: сейчас до самой южной его оконечности проведена автомобильная дорога, что, несомненно, вызовет промышленный рост этой безлюдной прежде части мексиканского побережья. Хотя серые киты и охраняются мексиканскими законами, по-видимому, настало время подумать о создании настоящих заповедников в основных местах их разведения.

Судя по всему, численность серых китов не сможет, даже при самых благоприятных условиях, превзойти уровень 13—14 тыс. голов. Пока же, как показывают наблюдения, процесс увеличения их численности продолжается.

**А. В. Яблоков,**  
доктор биологических наук  
Москва

Хамелеон общеизвестен своим удивительным свойством мимикрии. Не менее удивительны его глаза, вращающиеся независимо друг от друга. Но более всего поражают его поистине снайперские способности при охоте за насекомыми. Вся «слава» при этом неизменно приписывается лишь необыкновенному языку хамелеона. Действительно, аппарат языка у этого животного очень сложен конструктивно; его длина в вытянутом состоянии превосходит длину всего его тела; кроме того, он способен выскакивать с необычайной скоростью — 5 м/с. И все-таки дело не только в языке.

Охотящийся хамелеон не преследует свою добычу. Обычно он остается на месте и ждет, пока жертва сама приблизится к нему. Заметив насекомое на расстоянии, несколько превышающем возможности его языка, хамелеон иногда очень медленно, незаметными движениями продвигается к жертве. Выбрав окончательную позицию, он прицеливается и «выстреливает» в нее языком. При этом достигается изумительная точность: цель поражается безошибочно. Какой механизм позволяет хамелеону определить требуемую длину языка для захвата добычи?

В лаборатории зоологии Оксфордского университета (Англия) было установлено<sup>1</sup>, что хамелеон почти никогда не упускает добычи благодаря тому, что в момент «прицеливания» очень точно оценивает расстояние до нее и делает это с помощью аккомодации глаз.

Чтобы получить ясное изображение наблюдаемого объекта, хамелеону нужно подогнать фокусное расстояние путем большего или меньшего растяжения хрусталика внутриглазными мышцами. Сокращение мышц хрусталика

и устанавливает «автоматически» дистанцию на выстрел языком. Что дело происходит именно так, было показано английскими зоологами простым способом: они изготовили для хамелеона очки с корригирующими стеклами. Поскольку в данном случае в механизм коррекции хрусталика вмешалась оптика очков, «автомат» животного должен был разладиться. Так и произошло: язык перестал доставать до добычи.

Был проведен и другой эксперимент: один глаз хамелеона закрывали светонепроницаемой пленкой. Результат был тот же: «автомат» перестал срабатывать.

Таким образом, установлен очевидный факт взаимодействия между зрением и аппаратом языка хамелеона. Теперь предстоит выяснить, как осуществляется это взаимодействие.

**В. Ф. Рощаковский**  
г. Подольск

**Чайки захватывают город**

За последние десятилетия численность серебристой чайки (*Larus argentatus*) в северо-западной Европе резко возросла. Согласно данным орнитологов Дж. Коулсона (зоологический факультет Даремского университета) и П. Монахэн (зоологический факультет Университета в Глазго), с 1945 г. популяция этой птицы на Британских о-вах ежегодно увеличивалась в среднем на 13%, что вчетверо превышает темпы роста численности любого другого вида птиц, гнездящихся в Англии. В 1976 г. на Британских о-вах насчитывалось уже около 750 тыс. пар серебристых чаек.

Естественно, такой прирост вызывает серьезные изменения в условиях существования других видов пернатых (значительно пострадали, например, популяции нескольких видов крачек). Заметные перемены произошли и в поведении самих серебристых чаек, в особенности в отношении челове-

<sup>3</sup> Gilmore R. M. The return of the gray whale. «Sci. Amer.», 1955, v. 192, № 1, p. 62—67.

<sup>1</sup> «Наука и техника», 1977, № 38; с. 18—19 (Болгария).

ка: если до 1940 г. этот вид обычно держался в стороне от городов и поселков, то ныне чайки все чаще селятся на крышах домов. Наблюдателями установлено, например, что вследствие предельной перенаселенности естественных мест гнездовой большое количество чаек с островов, лежащих в заливе Ферт-оф-Форт (восточное побережье Шотландии), переселилось на крыши домов в северо-восточной Англии.

В 1969 г. в ходе орнитологической операции «Море-плаватель» был произведен подсчет морских птиц, гнездящихся вдоль побережий Великобритании, — тогда-то впервые и был установлен факт массового вторжения чаек в города. В 1976 г. перепись была повторена по более подробной программе. Обработка всей совокупности полученных данных показала, что число колоний чаек на крышах британских населенных пунктов возрастает с постоянным темпом — 9,3% в год, по крайней мере с 1940 г. Если в 1910 г. населенных пунктов, где бы на крышах гнездились чайки, вообще не было, то в 1970 г. их насчитывалось больше сотни, а в 1976 г. уже только в каждом из 10 городов число гнездящихся на крышах пар чаек превышало 100, причем более половины этих колоний возникло за последнее десятилетие. Интересен факт, что такие колонии в последнее время стали появляться не только в прибрежных, но и в отдаленных от морских берегов населенных пунктах. Если общая численность серебристой чайки на Британских о-вах удваивается каждые 6 лет, то в городах на это уходит лишь 5 лет. Предполагают, что к середине 80-х годов серебристая чайка освоит не менее 246 населенных пунктов Великобритании и ее численность превысит 14 тыс. гнездящихся пар.

С начала 70-х годов от жителей городов и поселков все чаще стали поступать жалобы на шум и загрязнение улиц, крыш, стен зданий и памятников, производимые скоплением чаек. В 1971 г. в одной из местных школ были прерваны занятия в связи с попыткой

ликвидировать колонию, обособившуюся на спортплощадке: пикируя на головы людей, чайки шумно и упорно защищали свои гнезда. Отмечены случаи, когда в помете чаек содержались бактерии *Salmonella*, вызывающие острое отравление у человека при случайном попадании в пищу.

Попытки выселить чаек из городов пока остаются безрезультатными. Так, в 1971 г. в Саут-Шилдсе на берегу Северного моря (северовосток Англии) была устроена специальная шумовая тревога, однако в результате чайки лишь шире расселились по городу, захватив новые районы. Более удачными оказались меры, предпринятые против немногочисленных, еще не устоявшихся колоний.

Экология городской серебристой чайки должна быть более глубоко изучена, прежде чем можно будет приступить к решению этой назревающей проблемы.

«New Scientist», 1978, v. 79, № 1116, p. 456—458 (Великобритания).

#### Палеонтология

### Египтопитек

Экспедиция, возглавляемая приматологом Э. Л. Симонсом (Дьюкский университет, Дарем, США), работая в районе Эль-Файюмского оазиса, в 80 км к юго-западу от Каира, обнаружила в 1977 г. остатки ископаемой обезьяны, получившей название *Aegyptopithecus*.

Существенно, что найдены такие важные элементы скелета, как верхняя часть руки и часть локтевого сустава, а также челюсти с хорошо сохранившимися зубами. Возраст остатков оценивается, по крайней мере, в 30 млн лет, и, по-видимому, египтопитек — самый древний из всех известных науке предков высших приматов.

Анализ ископаемых костей позволил Симонсу заключить, что египтопитек может рассматриваться в качестве

связующего звена между примитивными приматами и более поздними человекообразными обезьянами. Размеры тела египтопитека близки к размерам современной лисицы. Передвигались эти приматы, очевидно, на четырех конечностях, жили на деревьях, но не умели раскачиваться на ветвях, как это делают современные нам обезьяны. Характер скелета конечностей показывает сходство египтопитека как с более древними протообезьянами, например, лемурами, так и с нынешними широконосными обезьянами-ревунами Южной Америки. Кроме того, в скелете египтопитека есть черты сходства и с настоящими человекообразными обезьянами.

Кости египтопитека залегали в олигоценовых песчаниках, на глубине около 80 м, под слоем лавы, возраст которой примерно 26 млн лет. Все найденные кости были разбросаны на довольно значительном расстоянии друг от друга, местами оказавшись в естественных обнажениях, вызванных ветровой эрозией. Считается, что питавшийся листвою деревьев египтопитек чаще всего становился жертвой водных и полуводных хищников на водопое. Исследователи полагают, что шансов найти его полный скелет весьма мало.

Очевидно, египтопитек появился за несколько миллионов лет до рамапитека — первого из приматов, напоминавшего человека. Работы экспедиции продолжают.

«Science News», 1978, v. 113, № 13, p. 196 (США).

#### Геология

### Древнейшие породы Земли

Самые древние на Северо-Востоке СССР породы выходят на поверхность в центральных частях Охотского и Омогонского массивов. Сведения о возрасте этих пород, полученные калий-аргоновым и рубидий-стронциевым методами, достаточно противоречивы. В связи с этим Е. В. Би-

бикова, В. А. Грачев, В. А. Макаров и К. Б. Сеславинский (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР) исследовали гнейсы и кристаллические сланцы Омолонского массива, применив наиболее точный на сегодня метод — уран-свинцовый.

Оказалось, что минимальный возраст этих пород — 3400 млн лет. Это самая древняя для территории СССР дата, полученная уран-свинцовым методом.

Таким образом, плагиогнейсы Омолонского массива можно отнести к древнейшим породам нашей планеты. По возрасту, составу и строению они сопоставимы с плагиогнейсами массивов Амитокс (Гренландия), Уивак (Лабрадор) и гнейсами долины р. Миннесоты (Северная Америка), возраст которых оценивается в 3600 млн лет.

«Доклады АН СССР», 1978, т. 241, № 2, с. 434—436.

#### Геология

### Подводные вулканы Курильской дуги

В 1971—1972 гг. научно-исследовательское судно Дальневосточного научного центра АН СССР «Пегас» и судно Института океанологии АН СССР «Витязь» проводили морские геологические работы в Охотском море: У подводного северо-западного склона Большекурильского геосинклинального поднятия был собран каменный материал с одиннадцати подводных вулканов. Эхолотные промеры показали, что у основания вулканы имеют пологие склоны (2—7°), которые в своей средней части становятся круче, а в вершинной достигают 35—40°.

Сравнительный анализ поднятых обломков коренных пород и гальки, проведенный В. Ф. Остапенко с сотрудниками (Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт ДВНЦ АН СССР), показал, что, во-первых, эти поро-

ды идентичны для всех исследованных подводных вулканов и, во-вторых, среди пород, слагающих эти вулканы, встречаются все разновидности эволюционного ряда базальт-андезит-дацит-риолит, принадлежащего к андезитовой формации.

Остапенко пришел к заключению, что галька на вулканах Курильской дуги — местного происхождения. Значит, подводные вулканы ранее возвышались над уровнем моря. Об этом же свидетельствуют и образцы лавы.

То, что дно Охотского моря в недалеком прошлом было сушей, находит целый ряд подтверждений; спорным остается лишь вопрос о природе и времени образования Курильской котловины.

Во время геологических морских работ со склонов Курильской котловины были подняты коренные биотитовые граниты с калишпатом (абс. возраст 144 млн лет), не характерные для данного района. Это позволяет специалистам предположить, что в недалеком прошлом на месте Курильской котловины был континент. Возраст подводных вулканов, вероятнее всего, четвертичный. Опускание суши происходило здесь неравномерно, что подтверждается морфологией вулканов: вершины образований, расположенных на шельфе, — плоские, на склонах котловины — сглаженные, а на ее дне — острые. Это говорит о том, что скорость погружения вулканов была тем больше, чем ближе они расположены ко дну котловины.

«Доклады АН СССР», 1978, т. 242, № 1, с. 168—171.

#### Геология

### Лишайники помогают датировать землетрясения

Известно, что размеры лишайников пропорциональны их возрасту. Особенно удобны для определения соотношения между диаметром и возрастом те из видов лишайника, которые разрастаются концентри-

чески. Так как лишайники поселяются практически на любых скальных поверхностях, их пытаются использовать для датирования каменных новообразований. Именно таким, лихенометрическим<sup>1</sup> методом определяют возраст лавин, селей, обвалов.

А. А. Никонов и Т. Ю. Шебалина (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) впервые использовали лихенометрию для датирования сейсмогенных образований. Объектом исследований была выбрана эпицентральной область известного Хаитского катастрофического землетрясения 1949 г. в Таджикистане.

На камнях обвала, возникшего в 1949 г., проведена серия измерений диаметров лишайника из рода *Lecopena*. По максимальному диаметру и четырем другим статистическим показателям получено значение среднегодовой скорости прироста лишайников. Специальные измерения выявили, с одной стороны, независимость скорости прироста от северной или южной экспозиции лишайников, с другой — зависимость от абсолютной высоты местности. Затем данные прироста авторы использовали для исчисления возраста лишайников, растущих на сейсмогенных образованиях неизвестного времени.

Таким способом в эпицентральной зоне Хаитского землетрясения был определен возраст сейсмогенных форм рельефа, возникших как при землетрясении 1949 г., так и при более раннем землетрясении, а также возраст поверхностей, с землетрясениями не связанных. Полученные значения возраста составляют соответственно (относительно 1977 г.) 25—30, 160—190 и 170—220 лет. С помощью лихенометрических исследований удалось, таким образом, установить не только крупное сейсмическое событие, произошедшее в конце XVIII — начале XIX вв., но и уточнить характерные признаки проявления сильных землетрясений на

<sup>1</sup> От латинского *lichen* — лишайник.

поверхности земли в изученном районе.

Первый опыт лихенометрических исследований в Средней Азии открывает большие возможности для обнаружения повторяемости сильных землетрясений и оценки сейсмической опасности этого региона.

«Доклады АН СССР», 1978, т. 242, № 4, с. 808—811.

Геохимия

## О происхождении алмазов

Хорошо известны алмазы из кимберлитовых трубок (т. е. связанные по своему происхождению с мантией Земли). Известно также, что они отличаются повышенным содержанием тяжелого изотопа углерода  $^{13}\text{C}$ . Однако встречаются алмазы и в россыпях, к тому же нередко в тех районах, где кимберлитовые трубки не обнаружены. Какого происхождения эти драгоценные камни?

Пытаясь ответить на этот вопрос, Э. М. Галимов, Ф. В. Каминский и И. Н. Ивановская (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР и Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов, Москва), провели сравнительное изучение изотопного состава углерода в алмазах из россыпей Урала, Тимана (север Европейской части РСФСР), Саян, Украины, а также черных алмазов из Бразилии (так называемых карбонадо).

По степени обогащения тяжелым изотопом углерода авторы выделяют 4 группы алмазов, соответствующие определенным классам природных соединений углерода. Поскольку алмазы разных россыпей неоднородны по изотопному составу, авторы делают вывод, что они имеют различное происхождение.

В уральских россыпях часть алмазов относится к кимберлитовому типу, а часть из них содержит сравнительно

мало изотопа  $^{13}\text{C}$ . Саянские также, наряду с кимберлитовыми, содержат алмазы иного, пока не установленного происхождения. Единственный алмаз с Тимана относится к кимберлитовому типу. Заметно обедненные тяжелым изотопом углерода украинские алмазы имеют ударно-метаморфическое происхождение: возможно, их образование связано со взрывами гигантских метеоритов, когда углерод земной коры превращается в сверкающий самоцвет. Особое место занимают черные алмазы Бразилии: тяжелого изотопа  $^{13}\text{C}$  в них так мало, что их появление с несомненностью указывает на источник, принципиально отличный от кимберлитовых трубок.

«Геохимия», 1978, № 3, с. 340—348.

Организация науки

## Новое международное предприятие океанологов

В связи с успешным завершением в декабре 1975 г. международной программы «Совместные исследования Карибского моря и прилегающих районов» (Cooperative Investigations of the Caribbean and Adjacent Regions — CICAR) океанологи ряда стран разработали план нового научного мероприятия, которое должно продлить изучение этого важного во многих отношениях района Мирового океана.

С этой целью Межправительственная океанографическая комиссия в июле 1977 г. создала Ассоциацию по исследованию Карибского моря и прилегающих районов (IIOCARIBE), первая конференция которой состоялась в Каракасе (Венесуэла). На конференции решено не ограничиваться, как это было в период Международной индоокеанской экспедиции, или на первых стадиях CICAR, лишь экспедиционными работами, а включить в круг деятельности подготовку специалистов в различных областях океанологии, совместное использование обо-

рудования, обмен методиками, информацией, персоналом и т. п.

Во главе руководящего органа всего мероприятия стоит избираемый председатель и два региональных секретаря, назначаемых Межправительственной океанографической комиссией. Местом пребывания руководства избрана Республика Тринидад и Тобаго; официальный печатный орган — «IIOCARIBE Newsletter».

Об участии в этом новом предприятии заявили Бразилия, Венесуэла, Гаити, Гайяна, Гватемала, Доминиканская Республика, Колумбия, Коста-Рика, Куба, Мексика, Нидерланды, Никарагуа, Панама, СССР, Суринам, США, Тринидад и Тобаго, Франция и Ямайка.

«Tsunami Newsletter», 1978, v. XI (2), p. 10—11 (США).

Океанология

## Антропогенные вещества на поверхности океана

В. И. Михайлов (Одесское отделение Государственного океанографического института) исследовал распределение антропогенных веществ-загрязнителей в поверхностном микрослое морской воды.

Обмен между океаном и атмосферой веществом и энергией связан с преобразованием форм энергии, изменениями фазового состояния вещества, метаморфизацией химического состава присутствующих компонентов. Поэтому понятно, какое большое влияние на процессы, происходящие на границе раздела океана и атмосферы, оказывают различные вещества-загрязнители. На сегодня еще не совсем ясно, как скажется на различных видах обмена между океаном и атмосферой нарушение естественного состояния поверхностного микрослоя морской воды.

Исследования проводились на судах Государственного океанографического института «Пассат» и «Э. Кренкель» в

**Средние концентрации веществ-загрязнителей**

| Год  | Горизонт | Нефтяные углеводороды, мг/л | Детергенты, мкг/л | Ртуть, мкг/л | Пестициды, мкг/л | Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /л |
|------|----------|-----------------------------|-------------------|--------------|------------------|------------------------------------|
| 1973 | 0,3 м    | 0,81                        | 104               | 0,9          | 11,0             | 5,43                               |
|      | 1,0 м    | 0,01                        | 35                | 0,2          | 0,5              | 0,36                               |
| 1975 | 0,3 м    | 2,20                        | 207               | 1,1          | 11,5             | 6,81                               |
|      | 1,0 м    | 0,01                        | 38                | 0,2          | 0,5              | 0,39                               |

зимние периоды 1973 и 1975 гг. в северо-восточной части Атлантического океана по маршруту: о-в Исландия — Фарерские о-ва — Шетландские о-ва — Норвегия. В каждом году на стандартных разрезах этого маршрута было отобрано по 28 пар проб морской воды с двух сравниваемых горизонтов: поверхностного микрослоя и слоя глубиной до 1 м. Отбор производился в первом случае с помощью сеточного пробоотборника, основу которого составляет нейлоновая сетка с толщиной нити 200 мкм и ячейками в 1 мм<sup>2</sup>, а во втором — с помощью пластмассового батометра; в моменты отбора проб в 1973 и 1975 гг. была схожая синоптическая и гидрометеорологическая обстановка.

Полученные результаты показывают, что на границе раздела океана и атмосферы происходит значительный рост концентрации веществ-загрязнителей по сравнению со слоем 0—1 м. Так, с 1973 по 1975 г. на всем протяжении маршрута в поверхностном микрослое возросли, например, средние концентрации: нефтяных углеводородов — в 2,7 раза, детергентов — в 2 раза, ртути — на 20%. Величина перманганатной окисляемости (в нейтральной среде), которая может служить косвенным показателем концентрации органического вещества на границе раздела океана и атмосферы, увеличилась на 1,5 мл O<sub>2</sub>/л. В то же время концентрации загрязняющих веществ в слое 0—1 м практически не изменились (см. табл.).

Столь быстрый процесс накопления загрязняющих веществ в поверхностном микрослое морской воды может изменить режим тепло- и массообмена на границе между океаном и атмосферой, а так-

же вызвать необратимые экологические изменения в жизни моря, поскольку большинство обитателей океана проводит ранние стадии развития именно под пленкой поверхностного натяжения.

«Океанология», 1978, т. XVIII, вып. 5, с. 841—845.

Океанология

**Снимок океанических вихрей из космоса**

С борта американского искусственного спутника Земли «Лэндсат-2» с высоты

915 км сделан снимок, на котором хорошо различимы по меньшей мере восемь отдельных вихреобразных течений в Мировом океане<sup>1</sup>.

После обработки снимка в Управлении геологической съемки США (Рестон, штат Вирджиния), выполненной под руководством Р. Уильямса, обнаружены три хорошо развитых двойных кольцеобразных вихря. Некоторые из этих колец имеют диаметр не менее 30 км.

Изучение океанических вихрей играет большую роль в исследовании взаимодействия океана и атмосферы, процессов загрязнения водной среды, в измерении продуктивности планктона и т. п.

«Science News», 1978, v. 113, № 17, p. 277 (США).

<sup>1</sup> См. также: «Природа», 1978, № 9, с. 144; № 10, с. 146.

Снимок вихреобразных течений в Мировом океане, сделанный с борта американского спутника «Лэндсат-2».



## География

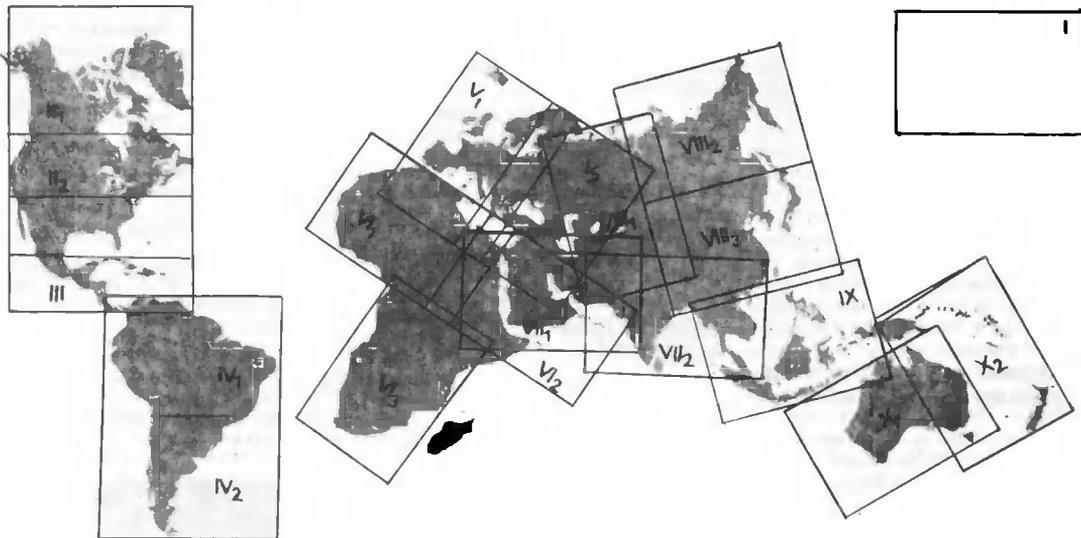
## Почвенный атлас мира

На XI конгрессе Международного общества почвенных наук, который состоялся в Эдмонтоне (Канада) в июне 1978 г., специалистам была представлена первая в истории Почвенная карта мира<sup>1</sup>, создание которой заняло 17 лет.

Долгое время почвоведение как наука страдало

Обмен полезной информацией и ее сопоставление были до крайности затруднены. И вот на состоявшемся в 1959 г. конгрессе Международного общества почвенных наук впервые было решено предпринять попытку исправить положение. Общество, заручившись поддержкой Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) и Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), в

Было обработано более 10 тыс. различных документов: почвенных карт, различавшихся масштабом, проекцией, форматом, языком; всевозможных описаний, отчетов, объяснительных записок. Большой вклад внесли сотрудники ЮНЕСКО, которые одновременно с обследованием районов, где выполнялись различные проекты этой организации (главным образом — в развивающихся странах), вели изучение почв. Американское географическое



Распределение различных территорий Земли по листам Почвенного атласа мира. [Римские цифры означают номер тома Объяснительной записки, арабские — номер листа карты.]

от отсутствия единого подхода к нанесению на карты объекта своих исследований. В различных странах существовали собственные, зачастую несоответствующие методы съемки и картографирования, системы классификации почв (одни предпочитали генетическую — по их происхождению, другие настаивали на морфологической), своя терминология и т. д.

1961 г. представило научной общественности план подготовки единой карты почв всего мира. Для его осуществления был создан Международный консультативный совет, в работе которого приняли участие ведущие почвоведы Австралии, Аргентины, Бельгии, Бразилии, Ганы, Голландии, Индии, Индонезии, Ирака, Канады, Кении, Мексики, Новой Зеландии, Румынии, Сенегала, США, Франции, Эквадора и Японии; от СССР в консультативном совете принимали участие И. П. Герасимов, В. А. Ковда, Б. Г. Розанов, Е. В. Лобова, И. В. Тюрин и В. М. Фридлянд. Совет выработал общую легенду к карте, организовал полевую корреляцию материалов, отбор картографической основы, с помощью региональных комитетов согласовал единую терминологию.

общество предоставило в распоряжение почвоведов свою топографическую карту в масштабе 1:5 000 000, которая была принята за картографическую основу всего издания. Существенные решения о принципах построения международной легенды были приняты на конференции, состоявшейся в 1966 г. в Москве.

Созданная карта состоит из 18 многокрасочных листов размером 76X110 см, причем сделано все возможное, чтобы каждая страна уместилась на минимальном количестве листов и не была «разрезана» на произвольные и неудобные для пользования участки. Европе, Северной Америке, Южной Америке, Южной Азии и Австралии посвящено по 2 листа карты; Африке, Северной и Центральной Азии — по 3; Мексике с прилегающими

<sup>1</sup> Soil Map of the World. 18 sheets, Explanatory volumes I—X, Scale 1:5 000 000. FAO and UNESCO. P., 1978.

к ней странами Центральной Америки, а также Юго-Восточной Азии — по одному листу; еще один лист занят легендой.

Каждый из названных регионов описан в отдельной Объяснительной записке, которая сама по себе представляет беспрецедентную десятитомную<sup>2</sup> монографию: здесь даны подробное описание почв, характера нынешнего землепользования в данной области и целесообразности применения тех или иных способов ведения сельского хозяйства; изложены климатические, физико-географические, геологические характеристики различных почвенных зон; описаны типы растительности и распределение населения; приведены многообразные статистические данные. В каждом томе текст дается на двух из следующих языков: русском, английском, французском и испанском, при этом хотя бы один из языков должен быть распространяемым или приемлемым для населения региона, описываемого в данном томе.

Итак, научная общественность впервые получила в свое распоряжение одновременно и атлас, и подлинную энциклопедию почв земного шара.

«Nature and Resources», 1978, v. XIV, № 1, p. 2—6 (Paris, UNESCO).

#### Палеогеография

### Радиоизотопное определение палеоклимата

Одним из распространенных методов определения палеоклимата служит, как известно, изучение толщины годовых колец на ископаемой древесине. Новую методику, связанную с применением прямого радиоизотопного анализа древесины, предложили геохимики С. Эпштейн и К. Япп

(Калифорнийский технологический институт в Пасадене).

Методика основана на измерении отношения концентрации дейтерия и водорода в целлюлозе растительной массы, которое находится в прямой зависимости с отношением концентрации этих же элементов в воде, участвовавшей в образовании молекул целлюлозы, а последнее, в свою очередь, зависит от температуры, наблюдавшейся в данном районе Земли в то время, когда эта вода выпадала в виде осадков. Известно, что температура конденсации тяжелой воды, содержащей дейтерий, выше, чем конденсации «обычной» воды. Поэтому для областей с холодным климатом характерны осадки с меньшим содержанием воды, в состав которой входит дейтерий.

Сделав анализ древесины 40 деревьев, произрастающих в различных районах Северной Америки в эпоху последнего оледенения, исследователи получили возможность определить температуру воздуха в определенные моменты за период между 20 тыс. и 9300 лет до н. э. Возраст самих деревьев устанавливался радиоуглеродным методом (по <sup>14</sup>C).

Оказалось, что целлюлоза деревьев, произраставших 14—22 тыс. лет назад, содержит больше дейтерия, чем это типично для современных деревьев. Очевидно, климат в тот период в среднем был более мягким, зима — теплее, а лето — прохладнее. В таких условиях, вследствие обилия насыщенного влагой воздуха, двигавшегося с океанов и приносившего с собой снег, континентальные ледники летом подвергались меньшему таянию, а зимой получали больший прирост по сравнению с нынешним положением, когда для величайших современных районов оледенения — Гренландии и Антарктиды — обычны холодные сухие (малоснежные) зимы.

Анализ древесины, имеющий возраст от 10 до 12 тыс. лет, показал, что переход от условий оледенения к современному нам климату был очень резким и занял

всего около 2 тыс. лет. Установлено также, что те районы нынешней территории США, которые в эпоху последнего оледенения оставались свободными от ледникового покрова, характеризовались в среднем не намного более холодным климатом, чем ныне.

«Science News», 1978, v. 113, № 4, p. 59 (США).

#### Климатология

### 25-летний климатологический прогноз

Комплексная группа метеорологов, климатологов, океанологов, гляциологов, географов и других специалистов из Национального оборонного университета (Вашингтон, США) в феврале 1978 г. представила годичной конференции Американской ассоциации развития науки доклад «Климатические изменения до 2000 г.». В основу доклада положен анализ глобальных данных, а также мнений 24 виднейших климатологов из разных стран, которым заранее был разослан вопросник, касающийся степени вероятности осуществления пяти различных «сценариев» дальнейшего развития климата — от незначительного похолодания (на 0,3—1,2° С по сравнению с началом 70-х годов) до существенного потепления (на 0,6—1,8° С). Вероятностную оценку должны были получить такие детали каждого из «сценариев», как широтное распределение температурных изменений, длительность и изменчивость вегетационного периода, количество осадков, частота засух и «срывов» в возникновении муссонов и т. п.

Из ответов экспертов следует, что возможность катастрофических изменений климата в рассматриваемый период крайне незначительна. Вероятность глобального потепления более чем на 0,6° С по сравнению с началом 70-х годов составляет лишь 0,1; такая же вероятность похолодания более чем на 0,3° С. Скорее всего, климат до конца текущего столетия будет весьма

<sup>2</sup> В дополнительном томе изложены принципы пользования легендой, содержащей около 5 тыс. номенклатурных единиц.

сходен с тем, что наблюдался последние 40 лет, с большей вероятностью потепления, нежели похолодания.

Большинство экспертов, независимо от того, какие изменения температуры ими прогнозируются, считают, что любое из таких изменений сильнее скажется в высоких широтах Земли, однако в Южном полушарии их эффект будет слабее, чем в Северном, из-за тепловой инерции Мирового океана.

Не все участники опроса связывают засуху с солнечной активностью, но в общем большинство специалистов усматривают 20—22-летнюю цикличность в наступлении засух в западной части США. Существенных засух и «срывов» муссонов в других районах Земли в данный отрезок времени не предвидится. Вегетационный период в глобальных масштабах, по-видимому, в основном останется прежним. В Индии и других районах Азии восстанавливаются благоприятные для сельского хозяйства условия. Африканский район Сахель, граничащий с Сахарой и в последнее десятилетие переживший беспрецедентную засуху, очевидно, обретет обычные для него погодные условия.

«Science News», 1978, v. 113, № 8, p. 116 (США).

Метеорология

## Моделирование погоды в тропиках

В 1974 г. был проведен Глобальный атлантический тропический эксперимент (ГАТЭ), который в качестве составной части входит в международную Программу исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП). Эксперимент осуществлялся с целью сбора данных для математического моделирования погоды и изучения влияния мелкомасштабных метеорологических факторов, таких как небольшие тропические лилии, на крупномасштабные явления, например на образование и

развитие ураганов. Подобные связи считаются несомненными, однако было неясно, несут ли они повсеместный характер и распространяются ли, в частности, на область, простирающуюся между восточным побережьем Африки и западным побережьем Южной Америки (именно поэтому эта область была избрана для проведения ГАТЭ). Кроме того, было неясно, насколько данный конкретный фактор типичен, чтобы учитывать его в глобальных математических моделях погоды.

Проанализировав большой массив данных, собранных в ходе ГАТЭ, научный сотрудник Вашингтонского университета Р. Дж. Рид представил свои выводы годичной конференции Американской ассоциации развития науки, состоявшейся в феврале 1978 г.

Рид считает доказанным, что взаимодействие между восточно-западным струйным течением в высоких слоях атмосферы непосредственно к югу от Сахары и небольшими ливнями, в ходе которых выделяется тепловая энергия, поддерживает крупномасштабные движения воздушных масс, способные вызывать ураганы.

Точность полученных в ходе ГАТЭ данных, описывающих такое взаимодействие, достаточна, чтобы включить их в математические модели. Это, в принципе, позволит уточнить механизм развития урагана и усовершенствовать его более долгосрочный прогноз, в том числе и в средних широтах.

«Science News», 1978, v. 113, № 8, p. 123 (США).

Археология

## Зооморфные «превращения» в искусстве древних горцев

В богатой коллекции древностей, которые были найдены археологической экспедицией Чечено-Ингушского университета в 1978 г. на Северном Кавказе, выде-

ляется большая группа предметов, относящихся к I тыс. до н. э. и изображающих всевозможных животных.

В могильниках близ Кисловодска, у чеченских селений Ножай-Юрт, Ялкой-Мокк, Самашки найдены подвески VIII—V вв. до н. э. в виде реалистических фигурок лани, лошади, оленя, барана, голов медведя, лисицы, когтя орла и пр. Все они характерны для бронзовой зооморфной пластики так называемой кобанской культуры<sup>1</sup> и представляют собой амулеты, отразившие различные культы древних горцев Кавказа.

Встречены и более загадочные изображения. Так, в одном из погребений VIII—VII вв. до н. э., расположенном близ мебельной фабрики № 1 г. Кисловодска, обнаружены типично кобанские подвески фантастического оформления. Обычно их толкуют как изображения «рогатых птиц». Но, на наш взгляд, резоннее видеть здесь сложный образ, сочетающий черты животного (голова лани) и птицы (форма туловища и характерный треугольный широкий хвост). Интересно заметить, что такая манера совмещения черт различных живых существ в определенной мере присуща кобанскому искусству конца II — начала I тыс. до н. э. и значительно предшествует по времени известным «превращениям» подобного рода в скифо-сибирском «зверином стиле» VII—IV вв. до н. э. Например, многие бронзовые топоры того давнего времени украшались выгравированными рисунками волко-барсов или собо-волков, у которых лапы к тому же изображены в виде рыбье хвоста. В других случаях фигуре копытного животного (осла, мула) «придавался» длинный и гибкий хвост кошачьего хищника. Среди кобанских древностей правобережья - Терека немало

<sup>1</sup> Свое наименование эта культура получила по названию аула Верхней Кобан в Тагаурском ущелье Северной Осетии.



Из находок археологической экспедиции Чечено-Ингушского университета на Северном Кавказе в 1978 г. (сверху вниз):

Зооморфные подвески-амулеты, сочетающие черты лани и птицы. Окрестности Кисловодска, VIII—V вв. до н. э.

Браслет с изображением змея-барана. Селение Майртуп, VIII—VII вв. до н. э.

Бронзовая имитация резного кабаньего клыка — подвеска от конского убора. Селение Ялхой-Мохк, VI—V вв. до н. э.

Бляха с изображением фантастического хищника. Селение Ялхой-Мохк, V—III вв. до н. э.

находок массивных бронзовых браслетов, концы которых оформлены в виде голов баранов (с различной степенью близости к натуре), а корпус имитирует чешуйчатую кожу змеи — последний из таких браслетов VIII—VII вв. до н. э. найден нами у селения Майртуп.

Традиция фантастических зооморфных «превращений» достигла своего расцвета позднее, в VI—IV вв. до н. э., когда исконное кобанское искусство подверглось значительному воздействию скифо-сибирского «звериного стиля», на формирование которого оно и само оказало некоторое влияние. Вот бронзовая подвеска от конского убора, имитирующая резной кабаньих клык. Она обнаружена нами

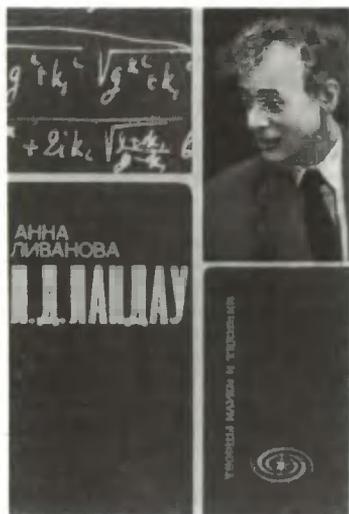
в гробнице у селения Ялхой-Мохк. Один ее конец передает оскалившуюся волчью пасть, другой — голову грифона. Подобное сочетание более всего отвечает вкусам савроматов Поволжья и обитателям Украины VI—V вв. до н. э., откуда и заимствован кавказцами этот сюжет. А в другом захоронении, расчищенном по соседству, оказалась бронзовая бляха с изображением причудливо изогнутой фигуры свирепого хищника, однако хвостик у него короткий, как у оленя, а лапы заканчиваются копытами! К тому же на плечевом поясе — схематический рисунок орлиного клюва, а на голове, впереди уха, явно виден рог.

Понять смысл подобных изображений можно, лишь обратившись к искусству «звериного стиля» V—III вв. до н. э., распространенному у кочевых племен Евразии, обитавших от Дуная до Алтая, а также собственно Кавказа. Усиленная изображение почитаемого зверя дополнительными символическими элементами иных, тоже священных, животных, кавказцы и их соседи выражали тем самым свои представления о сложности окружающего их мира. Религиозная сторона всех подобных «превращений» связана прежде всего с магическими представлениями: считалось, что свойства изображенных животных передаются тем предметам, на которых они выполнены (оружие, конская сбруя и т. п.) и — в конечном счете — содействуют человеку в достижении его целей.

**В. Б. Виноградов,**  
доктор исторических наук  
г. Грозный

## Об одном из ярчайших физиков XX века

Профессор М. И. Каганов  
Москва



А. М. Ливанова. Л. Д. ЛАНДАУ.  
М., «Знание», 1978, 191 с.

Насколько мне известно, научная школа Льва Давидовича Ландау не подвергалась социологическому или науковедческому исследованию. Однако художественный анализ иногда информативнее строгих, но скупых и безэмпирических цифр и таблиц. А. М. Ливанова в своих двух беллетристических произведениях<sup>1</sup> подвергла анализу школу Ландау, попытавшись разо-

браться в том, какие законы действовали внутри нее и какие черты личности Ландау сделали его создателем и главой школы.

Ландау было интересно все новое во всех областях физики. Важным объединяющим фактором был еженедельный семинар по четвергам в Институте физических проблем, на котором докладывались и слушались самые разнообразные работы из самых различных областей теоретической физики. На семинар приходили научные сотрудники практически из всех физических институтов Москвы, на него приезжали из Харькова, Ленинграда, Киева, Тбилиси.

В науке, как и в любой сфере общественной жизни, огромную роль играет общественное мнение. Школа, руководимая Ландау, ощущала в себе силу и за собой право формировать оценки. Не следует думать, что «оценки выставлялись» Ландау единолично. Это не так, хотя окончательное суждение всегда было за ним. Признание Ландау, а тем самым и всей школой, было свидетельством объективной ценности работы. Ощущение истинности оценок — одна из замечательных черт научного бытия школы Ландау. На самом деле, конечно, ошибки в оценках бывали.

Есть ученые, чуть ли не главная сила которых в формулировке тем, в умении поставить задачу. К ним относится и Ландау. Его неиссякавшее воображение порождало новые постановки задач, часть из которых он решал сам, а другими щедро делился со всегда окружавшей его научной молодежью. Если бы кто-нибудь взял на себя труд перечислить работы, в которых авторы благодарят Ландау за постановку задачи, этот перечень значительно расширил бы наши представления о творческом

наследии Ландау. Конечно, не нужно думать, что вся школа Ландау питалась только его идеями. К школе принадлежали многие ученые, чей самостоятельный вклад в науку очень значителен и самобытен. Непрерывное обсуждение ситуации в физике между Ландау и его «учениками» было важно не только для «учеников», но и для учителя. Обсуждение служило источником и новой информации, и новых идей, которые возникали как следствие переработки полученной от «учеников» информации. Школа была живым организмом, который без взаимодействия между частями не мог существовать.

В книге А. М. Ливановой школе Ландау посвящено много места. Ее «вчера» — при жизни Ландау. Естественно возникает вопрос о ее «сегодня». И прежде всего: есть ли вообще такое понятие в настоящее время, через 16 лет после ухода ее главы и создателя из творческой научной жизни?

Думаю, что есть. Прежде всего потому, что в каждом номере «ЖЭТФ» продолжают появляться работы, научный стиль которых выдает принадлежность их авторов к школе. Потому, что многие физикотейоретики нашей страны сознательно причисляют себя к школе Ландау, стараются по мере своих сил сохранить и развить традиции школы. Создан Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау, собравший в своих стенах многих его учеников. Выходят в свет новые тома «Теоретической физики» Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. Все это доказательства жизни и работоспособности школы.

16 лет — не маленький срок. За это время сменили друг друга несколько теорий элементарных частиц. Три поколения школьников поступили в университеты и закончили их, пять поколений молодых ученых прошли через аспиран-

<sup>1</sup> См. также: Ливанова А. О. Ландау (Размышляя о будущей книге). В сб. «Пути в неизвестное». М., 1974.

туру. Восемь раз проходили выборы в Академию наук. И до сих пор много вполне взрослых или ставших взрослыми за эти годы самостоятельных научных работников ощущают отсутствие Ландау. Особенно остро это чувство в нечетные четверги в Институте физических проблем на «его» семинаре.

Достоевский закончил свою знаменитую речь о Пушкине словами: «Пушкин умер в полном развитии своих сил и, бесспорно, унес с собою в гроб некоторую великую тайну. И вот мы теперь без него эту тайну разгадываем». А. М. Ливанова поставила перед собой почти невыполнимую, как она сама призналась, задачу: создать портрет Ландау — человека и ученого, попытаться раскрыть тайну Ландау. Необходимость говорить о главном для его жизни — теоретической физике, разобраться в полуправдивых рассказах о его манере вести себя — все это делало труд автора книги необычайно сложным и в определенном смысле неблагоприятным. У каждого, кто знал Ландау, в душе сохранился «его Ландау». Казалось, несовпадение неизбежно. И следовательно, неизбежно отрицательное отношение или, как минимум, преодоление отрицательного отношения... И вот книга о Ландау прочитана. Прочитавшие ее обменялись первыми словами оценки, сделали первые замечания. Мне кажется, я выскажу мнение многих: книга получилась. А. М. Ливановой удалось создать образ, в котором каждый узнает своего Ландау. Это — главное.

Наступит время, когда знавших Ландау не будет в живых. Память о нем будут поддерживать выведенные им формулы, написанные им статьи и курс теоретической физики. Но очень грустно представлять себе молодого человека, глядящегося в не слишком четкий от многочисленных перепечаток портрет Ландау, помещенный на переплете очередного издания его трудов, глядящегося, чтобы постичь, что наполняло черточку между цифрами 1908—

1968. Что это был за человек, который объяснил природу диамагнетизма металлов, создал теорию ферми-жидкости и установил, почему гелий течет без трения? Работы, занимающие так много места, времени, эмоций, душевного напряжения в жизни каждого ученого, несут, конечно, на себе следы личности их творца, но не допускают постановки «обратной» задачи: по ним нельзя восстановить образ автора.

Книга А. М. Ливановой закрепила память о живом Ландау. Сравнительно небольшой объем заставил автора очень строго подходить к отбору материала. Буквально несколько строк написано о детских и юношеских годах, собственно биография занимает около 20 страниц. А. М. Ливанова не потратила места на воспроизведение многократно описанной «всефизической» борьбы за жизнь Ландау после автомобильной катастрофы. Вся книга — о Ландау в теоретической физике. Это не означает, что автор знакомит нас только с научным творчеством Ландау, последовательно описывая одну работу за другой. Это дело не писателя. Научная биография Ландау написана<sup>2</sup>. А. М. Ливанова попыталась создать портрет Ландау в той обстановке, в которой он выражал себя наиболее полно: на семинаре, в беседах с учениками, в спорах. Она руководствовалась известной фразой Маяковского: «Я — поэт. Этим и интересен». «Ландау — физик. Физик-теоретик. Во многом исключительный, не похожий на других. Этим и интересен» (с. 8). И при чтении книги постепенно раскрывается личность Ландау, постепенно становится ясно, почему возникла его школа и что сделало Ландау ее главой. Бескомпромиссность во всем, что касается науки, неослабевающий интерес к природе и ее загадкам, высочайший профессионализм и требование профессионализ-

ма от других, способность оценить новое и найти ему место в «здании» теоретической физики, динамичность, позволявшая мгновенно переключаться с обсуждения одной работы на другую, даже если эти работы были бесконечно далеки одна от другой. И, наконец, огромный талант физика-теоретика — творца новых работ, создателя многих новых идей и методов.

Тем, кто не знал Ландау, такое панегирическое перечисление может показаться обычным (в наш век девальвации слов) преувеличением. Прочтите книгу, и примеры, там собранные, заставят вас поверить, что это констатация реальных черт Ландау.

Физика — огромная и разнообразная наука. В ней простые, практически доступные школьнику области. Но есть области (и к ним принадлежит прежде всего физика микромира), которые требуют сложной математики и для восприятия которых не подходит интуиция, воспитанная нашим макро-опытом. Это непредставимая физика. Ландау был горд за человечество: «Люди научились понимать то, что не могут себе представить». Эта гордость особенно оправдана потому, что в слово «понимать» Ландау вкладывал значительно больше, чем многие другие. Он требовал абсолютной ясности, не терпел полупонимания. Это одна из важнейших черт его характера, заставлявшая его отвергать смутные идеи, которые иногда в дальнейшем оказывались важными. Но, видимо, нетерпимость к полупониманию — необходимая черта при руководстве школой активных работающих физиков-теоретиков, и она стала стилем школы Ландау.

Половину своей книги А. М. Ливанова посвятила изложению теории сверхтекучести жидкого гелия. Эту работу Ландау считал своей лучшей работой. Так же оценил ее Нобелевский комитет. И, конечно, избранный А. М. Ливановой жанр делает необходимой попытку проникнуть в творческую лабораторию Ландау и впустить туда читателя. Мне

<sup>2</sup> См. Лифшиц Е. М. Лев Давидович Ландау (1908—1968). В кн.: Ландау Л. Д. Собр. трудов. М., 1969, т. 2.

трудно представить себе, как воспринимается эта часть книги читателем не физиком. А читатель-физик воспринимает многие страницы как научно-популярную статью о He-II — грамотно написанную, без вульгаризации, с удачно вставленными цитатами из статей Ландау о сверхтекучести.

Популяризация теоретической физики и вообще физики (а не ее приложений) — задача сложная, а, по мнению многих, — неосуществимая. Ландау, например, считал, что существование новой физики неподготовленному слушателю или читателю изложить нельзя. В Харькове я слушал его популярную лекцию для не физиков (кстати говоря, трудно было упростить Ландау ее прочесть). Лекцию он назвал «Как выглядит современная физика» и в сорокаминутном выступлении излагал только общие вещи: структуру науки, деление ее на области, какие задачи ставит перед собой физика и т. д., не «опускаясь» до упрощенного (а, следовательно, поверхностного) описания идей и представлений современной науки. Как мне казалось тогда и продолжает казаться сейчас, это его негативное отношение к популяризации было порождено неприятием полупонимания: не допуская его у профессионалов, он не любил его и у широкой аудитории. Он считал, что до сведения неподготовленного слушателя можно довести только общее впечатление от открытия. Из цитат, приводимых А. М. Ливановой, видно, что в своей популярной лекции Ландау не сообщает ничего о квантовой сути явления сверхтекучести. Не говорит даже того, о чем можно рассказать понятно: например, об условии сверхтекучести, получившем название условия Ландау. Но, не имея возможности проникнуть в святая святых, проследить и прокомментировать истинный творческий процесс Ландау, А. М. Ливанова показывает обстановку открытия, обстановку человеческую и научную. И эти страницы читаешь с интересом и острым любопытством, хотя бы потому, что они дают пред-

ставление об удивительном симбиозе «Капица — Ландау», который привел к открытию и объяснению одного из самых странных явлений природы — сверхтекучести жидкого гелия.

Книгу А. М. Ливановой «Л. Д. Ландау» я закрыл с чувством благодарности и, переполненный воспоминаниями, всматривался в знакомые черты неофициального, как он сам, портрета, помещенного на обложке. Надеюсь, что и те, кого судьба не одарила общением с Ландау, прочтя эту добрую книгу, почувствуют обаяние и привлекательность одного из ярчайших физиков-теоретиков XX века.

## Наперекор стихиям

Р. К. Баландин

Москва



Б. А. Болт, У. Л. Хорн, Г. А. Макдоналд, Р. Ф. Скотт. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТИХИИ. Землетрясения, цунами, извержения вулканов, лавины, оползни, наводнения. Пер. с англ. Б. А. Борисова. Под ред. Н. В. Шебалина. М., «Мир», 1978, 440 с.

В потоке научной и научно-популярной литературы, посвященной взаимодействию человека с природой и охране окружающей среды, немного

работ, освещающих геологический аспект этих проблем. В подобных работах по давней традиции речь идет преимущественно о геологических катастрофах, причиняющих людям немало бед и страданий. Особенность новой книги, посвященной этой теме, — в том, что она, сочетая научную строгость с доступностью изложения, оперирует новейшими фактами и гипотезами и рассказывает о явлениях, изучаемых целым рядом наук о Земле: вулканологией, инженерной геологией, сейсмологией, метеорологией, гидрологией, гляциологией.

Чтобы оценить важность и актуальность затронутых в книге проблем, достаточно ознакомиться с приложениями: каталогами наиболее известных землетрясений и цунами мира и Америки, а также крупнейших наводнений 1963—1974 гг. Здесь в графах, указывающих число жертв, то и дело встречаются пяти- и шестизначные цифры, а размеры ущерба от стихийных бедствий исчисляются в сотнях миллионов долларов. Так, в 1972 г. ураган «Агнесса» унес 118 человеческих жизней и стоил США (имеется в виду размер материальных убытков) 3 млрд долларов. А в 1976 г. в Китае произошло землетрясение, которое следует считать одним из крупнейших в истории по числу жертв: около 600 000 чел.

Первые главы книги читаются с особым интересом. И дело не только в том, что посвящены они таким грозным стихиям, как землетрясения, вулканические извержения, цунами. Авторы сумели рассказать о природных процессах, вызываемых ими бедствиях и о мерах борьбы с ними просто и увлекательно. Последнее обстоятельство следует подчеркнуть, так как, к сожалению, последующие главы, посвященные оползням и проседаниям грунтов, изложены сухо, в стиле учебников для вузов. К этим же главам можно предъявить более серьезные претензии. Они касаются классификации рассматриваемых там явлений. Видимо, редактору русского издания следовало бы обратить внимание на

противоречия и подчеркнуть, что в нашей стране приняты более четкие классификации склоновых и грунтовых процессов.

Было бы несправедливо не упомянуть о достоинствах этой части книги. Так, здесь интересно говорится о подводных оползнях и о следах оползневых процессов на других небесных телах (в частности, на Луне). Это склоновые движения, происходящие в специфических гравитационных условиях. Изучение их в сопоставлении с наземными гравитационными смещениями пород — новое и перспективное направление инженерно-геологических и географических исследований.

В книге приведены разнообразные меры борьбы с нежелательными природными процессами, включая такие, прежде казавшиеся совершенно неукротимыми, как землетрясения. Правда, по этому поводу мнения авторов расходятся. В одном случае (с. 49) упомянут эксперимент с вызыванием искусственных (техногенных) землетрясений путем закачки воды в скважины. При этом серия слабых сейсмических толчков, как предполагается, уменьшает вероятность

сильного землетрясения. В другом случае (с. 287) категорически отрицается возможность воздействия на тектонические и сейсмические процессы. С этим мнением вряд ли можно согласиться, так как известно немало фактов техногенного влияния на некоторые виды тектонической и сейсмической активности.

Вообще в книге не выделена особо геологическая деятельность человека, не подчеркнуты многообразие и опасность ее последствий. В наше время, когда наиболее распространен биологический подход к охране природы, важно подчеркнуть, что не менее, а подчас даже более важное значение имеет геологический аспект проблемы взаимодействия цивилизации с природой. Ведь в техногенез (так А. Е. Ферсман назвал геологическую деятельность человека) вовлекаются миллиарды тонн вещества Земли, при этом природные условия нарушаются на гигантских территориях, и эти нарушения затрагивают как неорганическую, так и живую природу. Однако в книге, посвященной геологическим стихиям, нет анализа одной из самых мощ-

ных «стихий» — геологической деятельности человека (хотя фактов, свидетельствующих об этой деятельности, приведено много).

В заключительной и как бы объединяющей главе говорится о способах уменьшения ущерба от стихийных бедствий. В ней особенно подчеркнута необходимость тесного сотрудничества между геологами и теми, кто связан с проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений. Для этого, прежде всего, необходимо иметь максимально полную и точную геологическую информацию, а также специалистов, способных эту информацию осмыслить, обработать, обобщить, использовать. Их пока мало. Однако появление книг, подобных рецензируемой, создает благоприятные условия для подготовки специалистов по комплексному изучению инженерно-геологических условий или, во всяком случае, привлекает внимание проектировщиков, строителей и вообще всех заинтересованных людей к геологической опасности, к необходимости ее знать и учитывать.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Физика

ЭЙНШТЕЙНОВСКИЙ СБОРНИК, 1975—1976. Сост. У. И. Франкфурт, отв. ред. В. Л. Гинзбург, Б. Г. Кузнецов. М., «Наука», 1978, 352 с., ц. 1 р. 70 к.

Как и предыдущие выпуски, очередной том «Эйнштейновского сборника» рассчитан на читателей, которых интересует современная физика и ее недавняя история. В книгу включено продолжение переписки А. Эйнштейна с М. Бессо (начало опубликовано в «Эйнштейновском сборнике, 1974»). Центральную часть сборника составляют ориги-

нальные статьи советских физиков и историков физики, посвященные релятивистским изменениям масштабов длины и времени, явлению черных дыр, эволюции понятия инерции, кризису теории тяготения на рубеже XIX и XX вв. и др. Значительный интерес представляют помещенные в сборнике переводы статей М. Борна, М. Лауэ, П. Эренфеста, В. Игнатовского, посвященные так называемой дискуссии о твердом теле, в ходе которой обсуждались актуальные проблемы построения кинематики недеформируемых твердых тел на основе постулата относительности.

### Биология

Л. П. Познанин. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ ПТИЦ. Отв. ред. К. К. Флеров. М., «Наука», 1978, 152 с., ц. 1 р. 60 к.

Хрупкие скелеты птиц, попав в землю, быстро разрушаются микроорганизмами, поэтому возможности прямого изучения эволюции птиц резко ограничены скудностью палеоорнитологических данных. В книге сделана попытка использовать сведения по экологии и систематике птиц для уточнения представлений о ходе их эволюции, в частности

о путях экологической эволюции. Автор последовательно рассматривает экологическую классификацию, а затем темпы и направления эволюции основных экологических типов птиц.

## Биология

**Ч. Ли. ВВЕДЕНИЕ В ПОПУЛЯЦИОННУЮ ГЕНЕТИКУ.** Пер. с англ. Е. Н. Салменковой и Е. Я. Тетушкина. Под ред. Ю. А. Алтухова и Л. А. Животовского. М., «Мир», 1978, 548 с., ц. 3 р. 20 к.

Это перевод с последнего, 3-го издания монографии, принадлежащей перу известного американского исследователя, профессора Питтсбургского университета. Автор рассматривает свою книгу как попытку создать учебник, отражающий все успехи генетики популяций.

Генетика популяций занимает особое место среди других биологических направлений, в частности в силу того, что она насыщена математическими моделями и методами, без которых невозможны ни теоретические, ни экспериментальные исследования. Однако до сих пор на русском языке не было ни одной книги, посвященной изложению соответствующего математического аппарата.

Автор освещает практически все основные разделы генетики популяций. Это одновременно и вводный курс популяционной генетики для математиков, и практическое руководство по математическим методам для биологов. В конце каждой главы дано большое количество примеров и список литературы.

## Биология

**А. Гиббс, Б. Харрисон. ОСНОВЫ ВИРУСОЛОГИИ РАСТЕНИЙ.** Пер. с англ. под ред. И. Г. Атабекова. М., «Мир», 1978, 430 с., ц. 3 р. 30 к.

Эта книга может оказаться полезной и студенту-биологу, и начинающему исследова-

телю-вирусологу, и любому заинтересованному неспециалисту. Просто, компактно и высоко профессионально излагают авторы такие вопросы, как влияние вирусной инфекции на растение-хозяина, передача инфекции, выделение и очистка вирусных препаратов, определение их инфекционности, техника серологических исследований, экология вирусов и борьба с вирусными инфекциями. Специальный раздел посвящен результатам, полученным с помощью современных физических и химических методов исследования (оптические методы, электрофорез, электронная микроскопия и т. д.).

## Биология

**Р. Глазер. БИОЛОГИЯ В НОВОМ СВЕТЕ.** Пер. с нем. К. М. Ближик и С. В. Беневоленского. Под ред. Ю. Г. Капульцевича. М., «Мир», 1978, 174 с., ц. 45 к.

Книга профессора Берлинского университета рассказывает о тесной связи современной биологии с математикой, физикой и техникой. Автор знакомит читателя с различными явлениями, происходящими на разных уровнях биологической организации — от молекул до целого организма и даже сообщества. Многие из этих явлений можно объяснить с помощью математического аппарата и физических законов. Современная биология широко использует теорию оптимальных процессов, термодинамику, квантовую механику и статистическую физику в решении тех или иных вопросов. Внедрение в биологию методов и идей различных смежных дисциплин не ведет к дроблению биологии, напротив, развитие общей биологии сегодня нельзя представить без их участия.

Актуальность темы, живой язык, неожиданные примеры и сравнения, интересные иллюстрации делают книгу увлекательной и доступной самому широкому кругу читателей.

## Метеорология

**Ю. М. Мартыненко. ДВЕНАДЦАТЬ ЛЕДОВЫХ МЕСЯЦЕВ.** Л., Гидрометеониздат, 1978, 127 с., ц. 30 к.

Мальчик, детство которого прошло в небольшой станции недалеко от Азовского моря, мечтал о Pamиpе. Однако немногие, как он, могут похвастаться, что им удалось осуществить свои детские мечты. Он окончил гидрометеорологический техникум и начал работать на метеостанции Хабураб, зимовал на самой высокогорной в мире метеорологической станции Ледник Федченко.

«Мне посчастливилось, — пишет Ю. М. Мартыненко, — работать на этой станции актинометристом. На высоте 4200 метров над уровнем моря (а иногда и выше), в окружении целого семейства шеститысячных вершин, под заунывной вой метели писались эти непритязательные записки о ледниковцах, о себе, о зимовке, обо всем, что произошло на станции за долгие двенадцать ледовых месяцев».

Читатели познакомятся с героическим трудом маленького, изолированного коллектива метеорологов, романтикой его будней и, возможно, почувствуют, что на свете нет интересных или неинтересных специальностей, а есть лишь, как замечает автор, неумение или умение проникнуть в суть той или иной работы. Книга рассчитана на специалистов-метеорологов, альпинистов и вообще молодых людей, которые задумываются о выборе профессии.

## География

**В. В. Покшишевский. НАСЕЛЕНИЕ И ГЕОГРАФИЯ.** Теоретические очерки. М., «Мысль», 1978, 316 с., ц. 1 р. 60 к.

В. В. Покшишевский, один из крупнейших советских географов, уже ряд десятилетий интенсивно работает в области географии населения. Его книга — это беседа ученого с любознательным читате-

лем, который найдет в ней и исторический обзор географии населения (с тщательной фиксацией ее современного состояния), и понятийный аппарат этой дисциплины, и рассуждения о ее месте в системе наук. В книге затрагиваются также демографические и этнографические процессы (в их связи с географией населения), проблемы урбанизации, миграции населения, прогнозирования и многие другие.

Особенностью книги В. В. Покшишевского является попытка с системно-структурных позиций переосмыслить уже имеющийся теоретический багаж. Книга проникнута высоким духом гуманизма, присутствующим географии населения как науке.

#### География

**К. В. Малаховский. ИСТОРИЯ ОСТРОВОВ КУКА.** М., «Наука», Глав. редакция восточ. лит., 1978, 72 с., ц. 25 к.

История и современное развитие одного из архипелагов Океании — островов Кука — составляют основное содержание книги.

В ней рассматривается географическое положение островов, проблемы их первоначального заселения, история открытия их европейцами. Публикуемые дневниковые записи английского мореплавателя Джеймса Кука позволяют, кроме того, узнать нравы и обычаи жителей островов в его время.

В книге идет речь и о других европейцах, видевших острова до Кука и после него, — испанцах А. Менданье и П. Кирросе, англичанине К. Блае, русском мореплавателе М. П. Лазареве, назвавшем открытый им остров именем Суворова.

Впервые все эти острова были объединены названием островов Кука известным русским моряком и ученым И. Ф. Крузенштерном.

Автор описывает деятельность христианских миссионеров XVIII — нач. XIX вв., изменение жизненного уклада островитян и сокращения их

численности в результате вторжения западной цивилизации, установления колониального господства Великобритании и их современное развитие.

#### История науки

**И. И. Мечников. ПИСЬМА К О. Н. МЕЧНИКОВОЙ (1876—1899).** Сост. А. К. Панфилова. Под ред. А. Е. Гайсиновича и Б. В. Левшина. М., «Наука», 1978, 328 с., ц. 2 р.

В это издание вошло 201 из 400 сохранившихся писем И. И. Мечникова к его жене О. Н. Мечниковой. Они относятся на 1876—1899 гг. (письма за 1900—1914 гг. готовятся к печати). Все эти письма свидетельствуют о необычайной привязанности И. И. Мечникова к жене, но главная их историческая ценность в том, что они содержат подробные описания проводимых им опытов, рассказ об его участии в конгрессах и конференциях, встречах с другими учеными и всех других деталей его повседневной научной деятельности. По существу это эпистолярный дневник, записи в который заносились по самым горячим следам — спустя лишь несколько часов после событий, которые в нем отражены.

Издание содержит также вводную статью А. Е. Гайсиновича, два предисловия, написанных в свое время О. Н. Мечниковой, обстоятельные примечания к письмам и комментированный указатель имен.

#### История науки

**Ю. И. Соловьев, Д. Н. Трифонов, А. Н. Шагин. ИСТОРИЯ ХИМИИ.** Развитие основных направлений современной химии. Пособие для учителей. М., «Просвещение», 1978, 352 с., ц. 1 р. 40 к.

Это первое в нашей стране пособие для учителей средней школы, посвященное истории химии. Оно вышло в двух книгах. Ранее опубликованная первая книга (М., «Просвещение», 1977), написанная Ю. И. Соловьевым, рассказы-

вала, как возникла химия и как она развивалась до конца XIX в. Во второй книге авторы знакомят читателя с важнейшими особенностями и закономерностями стремительного прогресса химии в XX в., с магистральными направлениями ее развития: учением о периодичности, координатной химией, радиохимией, химией элементоорганических соединений, биоорганической химией и т. д. Показаны внутренние и внешние (обусловленные внедрением физических подходов) причины создания принципиально новых методов исследования, а также разработок и углубления теории химической связи. Большое внимание уделяется физической и органической химии, теориям химической кинетики и катализа, проблемам биологической химии. Издание хорошо иллюстрировано.

#### Науковедение

**А. Б. Мигдал. ПОИСКИ ИСТИНЫ** (заметки о научном творчестве). М., «Знание», сер. «Физика», 1978, № 7, 80 с., ц. 11 к.

Можно ли проследить, как возникают сверхпродуктивные скачки мысли, неожиданные сопоставления, внезапные просветления, составляющие важнейшие элементы творческого процесса в науке? Набор каких психологических приемов облегчает поиски решения? Какие черты характера нужны для занятия наукой?

Автор книги, известный советский физик-теоретик, ведет с читателем беседу о роли природных данных в исследовательской деятельности, о стимулах и психологических помехах, о значении фундаментальных открытий и суевериях в науке. Особый интерес представляют разделы, в которых рассматриваются конкретные примеры красоты научных теорий (симметрия пространства, неустойчивость вакуума, необычные состояния ядерного вещества), а также примеры получения важных теоретических результатов с помощью качественного анализа.

## Об одном сочинении касательно «приготовления сахара из виноградных ягод», пропавшем и обретенном вновь

З. Е. Гельман

Москва

Находили затерявшихся сочинений выдающихся людей прошлого в наше время крайне редки. Потому любая из них привлекает к себе пристальное внимание ученых. К такого рода находкам принадлежит неизвестная до сих пор статья испанского химика, француза по происхождению, Жозефа Луи Пруста (1754—1826).

Ученые России в свое время ее читали и знали: профессор Московского университета И. А. Двигубский (1771/1772 — 1839) изложил содержание статьи в «Медико-физическом журнале» в 1808 г. Но поскольку это было изложение, то и подпись под ним стояла: Двигубский, а не Пруст.

Сам факт такого изложения, однако, неудивителен: ведь Ж. Л. Пруст вошел в историю химии в связи с установлением им закона постоянства состава химических соединений. Выдающийся химико-аналитик, Пруст провел важные исследования количественного состава солей различных металлов, в том числе металлических солей органических кислот. В области органической химии несомненный интерес представляют исследования Прустом сахаристых веществ: именно Прусту удалось получить твердый сахар из концентрированного виноградного сока. Наполеон, который в 1806—1810 гг. поощрял любые попытки заменить тростниковый сахар виноградным, пожаловал ему орден и предложил премию в 100 000 франков при условии, что Пруст доведет свое открытие до промышленного применения. Но далекий в тот момент от прикладных интересов, Пруст от предложения императора отказался.



*Joseph Proust Chimiste Née de l'Institut de France. né à Clugny  
Dessiné par son compatriote P. J. David*

Жозеф Луи Пруст (1754—1826) Портрет работы Д. д'Анжера, сделанный в последние годы жизни Пруста. Надпись от руки по-французски: «Луи Пруст, химик, член Института [Академии наук.— З. Г.] Франции, родившийся в Анжере».

Статья его, попавшая на страницы русского журнала, касалась именно этой, весьма актуальной тогда проблемы получения сахара из возможных заменителей сахарного тростника: после восстаний негров-рабов на Гаити и Санто-Доминго в конце XVIII в. и особенно после объявления Наполеоном в 1806 г. континентальной блокады, направленной против «владычицы морей» Англии, поставка тростникового сахара в европейские порты практически прекратилась<sup>1</sup>.

Рукопись этой статьи вместе с небольшим количеством лумба (малоценного сахара, полученного при переработке сиропов виноградного сахара) была подарена Прустом посланнику при испанском дворе Ивану Матвеевичу Муравьеву-Апостолу (1765—1851). Это был первый значительный этап ее «путешествия», ибо попала она, во-первых, в руки отца будущих известных декабристов, а, во-вторых, в руки человека просвещенного и о российском благоденствии печущегося. Три его сына — Матвей, Сергей и Ипполит участвовали в деле 14 декабря. Сергей, игравший активную роль в Южном обществе, возглавил один из восставших полков, был тяжело ранен, взят в плен и впоследствии повешен на кронверке Петропавловской крепости с четырьмя своими товарищами. Ипполит, узнав о пленении Сергея, решил его освободить, но, получив ошибочное известие о его смерти, покончил с собой. Лишь Матвей, более других братьев склонный к идее самоубийства, пережил тяжелую каторгу и дожил до преклонного возраста. Сам И. М. Муравьев-Апостол выдвигался, в случае успеха восстания, в члены Временного правительства.

Государственный деятель и писатель, знаток древних и новых языков, И. М. Муравьев-Апостол считался одним из образованнейших людей своего времени. Одно время он состоял «кавалером» (вос-

<sup>1</sup>См. об этом: Гельман З. Е. Химики Кирхгоф, Деберейнер и ...Гете.

или вопрос о том, как начиналась сахарная промышленность в Европе.— «Природа», 1977, № 3.

питателем и преподавателем) при внуках Екатерины II — Александре и Константине. Правда, тогда его фамилия не была двойной. Лишь позже, когда один из его титулованных учеников стал именоваться Александром I, по высочайшему повелению бывшему «кавалеру» было позволено присоединить к своей фамилии девичью фамилию его матери — Апостол.

В 1802 г. Муравьев в качестве русского посланника прибыл в Мадрид. Испанский министр М. Годой (Алькудия), фаворит королевы Марии Луизы и короля Карла IV, фактически управлявший тогда Испанией, полностью доверился представителю русского двора, особенно в сношениях с Францией. Влияние русского посланника на политику Испании стало известно Наполеону и возбудило его негодование на Муравьева. Не исключено, что именно антинаполеоновские настроения сблизили таких разных по своим интересам людей, как Муравьев-Апостол и Пруст.

С другой стороны, Пруст, как и Муравьев, не был закоренелым роялистом, тем более что жена Пруста Шатлен д'Обинь, с которой он познакомился в Испании, бежала из Франции именно от террора Бурбонов. Так что и здесь могла проявиться общность взглядов.

Нет оснований предполагать, что Муравьева могли заинтересовать непосредственно химические свойства или технология производства сахара. Муравьев считался неплохим поэтом, музыкантом и певцом, но он был далек от естественнонаучных дисциплин. Позднее он даже нападал на математику — «хладную философию исчисления»<sup>2</sup>. В то же время русский посланник, очевидно, был наслышан о Прусте как о выдающемся ученом-химике и мог понять значение его сочинения в борьбе против Континентальной блокады. Поэтому Муравьев переправил

статью Пруста, датированную 1805 г., своему большому другу Михаилу Никитичу Муравьеву (1757—1807), который в свое время тоже учил внуков Екатерины II русской словесности, русской истории и нравственной философии. Послал он статью, очевидно, не позднее первой половины 1807 г., так как 29 или 30 июля 1807 г. М. Н. Муравьев скончался. Посланник справедливо полагал, что товарищ министра народного просвещения и попечитель Московского университета, кем был в те годы М. Н. Муравьев, лучше него сумеет распорядиться произведением испанского химика. И не ошибся.

М. Н. Муравьев — поэт, страстный библиофил, завещавший после смерти свою библиотеку университету, пользовался среди ученых большим уважением. Рукопись Пруста вместе с лумбом он передал И. А. Двигубскому — человеку весьма разносторонних познаний, занимавшемуся физикой, технологией, химией, ботаникой, зоологией, анатомией, словом всеми теми предметами, характеризовавшими энциклопедически образованных людей того времени. Более всего Двигубский тяготел к естественной истории. Однако в историю науки и техники он вошел прежде всего как преподаватель технологии Московского университета. Он же является и автором первого отечественного учебника по технологии<sup>3</sup>.

Труды Двигубского в значительной степени компилятивны, в них немало сведений, почерпнутых из работ преимущественно немецких и французских авторов. Двигубский этого никогда не скрывал. Он неоднократно подчеркивал, что главная его цель — приблизить естествознание в России к уровню Западной Европы, для чего необходимы образцы... Следовательно, перевод рукописи Пруста и публикация из-



М. Н. Муравьев. Портрет работы Ж. Л. Монье.

влечений из нее в русской периодической печати не были исключением из правил Двигубского.

Но... хотя биография Двигубского хорошо известна и имеется несколько библиографических указателей его работ, рассматриваемая статья в них не упоминается, несмотря на то, что в оглавлении номера «Медико-физического журнала» она значится под его фамилией. С другой стороны, статья не значится ни в одном справочнике трудов Пруста. Даже в библиографически насыщенной монографии Л. Силвана «Химик Луис Хосе Пруст. 1754—1826»<sup>4</sup>, вышедшей в 1964 г., сведений о русском изложении Двигубским статьи тоже нет. И это несмотря на то, что Силван назвал свою книгу «био-библиографическим очерком», в котором наряду с известными ранее работами Пруста собраны многочисленные неизданные документы. Таким образом, статья «О приготовлении сахара из виноградных ягод» оказалась как

<sup>2</sup> Зубов В. П. Историко-география естественных наук в России. М., 1956, с. 147.

<sup>3</sup> Двигубский И. А. Начальные основания технологии, или краткое показание работ на заводах и фабриках производимых. Ч. 1—2. М., 1807—1808.

<sup>4</sup> Silvan L. El Químico Luis Jose Proust. 1754—1826. Victoria, 1964.

бы «потерянной». Однако же она имеет научный интерес хотя бы потому, что затрагивает вопросы, выходящие за пределы собственно технологии.

В начале статьи Двигубский пишет: «По мнению Пруста, сахар находится в природе в трех видах — в виде твердом, мягком и жидком»<sup>5</sup>. «Сочинитель,— пишет ниже Двигубский,— полагая различие между медовым сахаром и тростниковым, находит его весьма сходным с сахаром виноградным, а сахар из соку сахарного клену<sup>6</sup> почитает ближе всех подходящих к обыкновенному сахару. Исчисливши растения, из соку коих можно доставать сахар или в жидком виде, или в виде твердом, и предложивши известные уже понятия о сахаре обыкновенном, Сочинитель приступает к описанию сахара



И. А. Двигубский.

<sup>5</sup> Двигубский И. А. О приготовлении сахару из виноградных ягод.— «Медико-физический журнал». Ч. I. М., 1808, с. 165.

<sup>6</sup> Сладкие вещества из клена с древнейших времен добывались жителями Северной Европы и североамериканскими индейцами. В незначительном количестве этот сахар до сих пор производится в Канаде. Обладает большей сладостью, чем свекловичный и тростниковый. Цена на него весьма высока.

из виноградных ягод»<sup>7</sup>. В другом месте Двигубский сообщает мнение Пруста о возможностях виноградного сока «особливо в Испании... заменить, по крайней мере, для людей не так богатых сахар, привозимый из других частей света». Здесь конкретная работа уже дорастает до масштаба историко — экономического.

<sup>7</sup> Двигубский И. А. О приготовлении сахару из виноградных ягод, с. 166.

К этому Двигубский делает свое примечание: «то же можно сказать и о разных Губерниях Российской Империи, в которых виноград в довольно количестве разводится, но сахар продается гораздо дороже здешнего. Желательно было бы, чтобы соотечественники наши обратили внимание на сей важный предмет экономии».

Было бы неверно думать, что статья Двигубского в русском журнале оказалась единственным опубликованным вариантом рукописи Пруста «Исследование о сахаре из виноградных ягод». В 1806—1808 гг. на французском и испанском языках вышли статьи и отдельные издания трудов Пруста, где эта тема освещается подробнее. Да и мудрено было бы, если бы этого не было: ведь Пруст в конце жизни все же был избран действительным членом французской Академии наук. Однако рассмотренное нами «извлечение, почерпнутое из рукописного сочинения Пруста», представляет интерес не только своей не совсем обычной судьбой, приведшей ее на страницы русского журнала. «Рассуждение» Пруста — первая и, возможно, единственная прижизненная публикация этого химика в русской печати, которую теперь с полным основанием можно включить в библиографические справочники его трудов.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР  
Корректоры:  
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Сдано в набор 29/XI-1978 г.  
Подписано к печати 15/II-1979 г.  
Т-01414  
Формат бумаги 70×100 1/16.  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,4. Уч.-изд. л. 15,2  
Бум. л. 4  
Тираж 85 000 экз. Зак. 2611

Чеховский полиграфический комбинат  
Союзполиграфпрома  
Государственного комитета СССР  
по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли.  
г. Чехов, Московской области.

Адрес редакции 117049  
Москва, В-49, Марононский пер.,  
26. Тел. 237-50-30, 237-22-97.



Цена 50 коп.  
Индекс 70707

